THESES

présentées

A L'UNIVERSITE DE PARIS VI
ACADEMIE DE PARIS

par

Monsieur Gholamreza SEYRAFI

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

Première thèse : **Etude du comportement des chaussées en béton sous charges statiques et thermiques**

Deuxième thèse : *Propositions données par la Faculté :*

Dégagement de la chaleur dans les moteurs Diesel

soutenues le **20 septembre 1972** devant la Commission d'examen

M. SIESTRUNCK	*Président*
M. VICHNIEVSKY	*Examinateurs*
M. SAUTEREY	
M. ROUQUES	

THESES

présentées

A L'UNIVERSITE DE PARIS VI
ACADEMIE DE PARIS

par

Monsieur Gholamreza **SEYRAFI**

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

Première thèse : **Etude du comportement des chaussées en béton sous charges statiques et thermiques**

Deuxième thèse : *Propositions données par la Faculté :*
Dégagement de la chaleur dans les moteurs Diesel

soutenues le **20 septembre 1972** devant la Commission d'examen

M. SIESTRUNCK	*Président*
M. VICHNIEVSKY M. SAUTEREY M. ROUQUES	*Examinateurs*

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

R E M E R C I E M E N T S

J'adresse mes remerciements respectueux à MM. les Professeurs SIESTRUNCK et VICHNIEVSKY pour la bienveillance avec laquelle ils ont bien voulu s'intéresser à ce travail.

J'exprime ma reconnaissance à M. PASQUET, Directeur du Laboratoire central des Ponts et Chaussées et à M. SAUTEREY, Chef du Département des Chaussées du L.C.P.C., qui m'ont fait l'honneur de m'accueillir dans leur laboratoire, ainsi qu'à MM. de BOISSOUDY, DUMOULIN, MASSONPIERRE, MOREL et MUCCI dont l'aide et les conseils m'ont été très précieux.

Qu'ils en soient tous très sincèrement remerciés.

Gholamreza SEYRAFI

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552727_0026

S O M M A I R E

I N T R O D U C T I O N

1 - Généralités

2 - chaussées rigides et leurs problèmes spécifiques

CHAPITRE I - Etude théorique des chaussées rigides

1 - Flexions des plaques minces

2 - Caractéristiques principales des modèles classiques

21 : modèle de Boussinesq

22 : modèle de Westergard

23 : modèle de Hogg

24 : modèle de Burmister

25 : modèle de Jeuffroy-Bachelez

26 : modèle de Frémond

3 - Principes de calcul de deux modèles

31 : chaussées de dimensions infinies en plan (modèle de Burmister)

32 : chaussées de dimensions finies (modèle de Frémond)

CHAPITRE II - Etude des phénomènes thermiques dans les chaussées rigides

1 - Généralités

2 - Distribution naturelle de la température

3 - Effet d'une distribution de la température

31 : contraintes thermiques

32 : contraintes dues au poids propre de la dalle

33 : contraintes dues aux chocs thermiques

CHAPITRE III - Etude expérimentale

(A) - Première partie

1 - Dispositif d'expérimentation
2 - Caractéristiques des dalles
3 - Fabrication des dalles
4 - Matériaux utilisés

41 : caractéristiques des granulats
42 : étude granulométrique
43 : résistances mécaniques du béton
44 : détermination du module d'Young et du coefficient de Poisson

5 - Utilisation des appareils de la manipulation

51 : chaîne d'application de la charge statique
52 : chaîne du chauffage
53 : chaîne de mesure des déplacements
54 : chaîne de mesure des déformations
55 : chaîne d'enregistrement des températures

6 - Etalonnages des appareils et calculs des incertitudes

61 : chaîne d'application de la charge statique
62 : chaîne de mesure des déplacements
63 : chaîne de mesure des déformations

7 - Mode opératoire

71 : choix de la charge limite à imposer aux dalles
72 : déroulement des essais

(B) - Deuxième partie

1 - Programmes des essais

2 - Mesures effectuees

21 : déplacements verticaux des dalles

22 : déformations horizontales radiales et tangentielles

23 : répartitions des températures des dalles

3 - Représentations des résultats expérimentaux

31 : déplacements verticaux des dalles

31,1 : chargements centrés sans gradient pour les dalles (D-1), (D-3), (D-4)

31,2 : chargements excentrés sans gradient pour la dalle (D-1)

31,3 : chargements centrés avec gradient pour les dalles (D-2), (D-3), (D-4)

31,4 : chargements thermiques pour les dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4)

32 : déformations horizontales radiales et tangentielles pour les dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4)

33 : répartitions des températures des dalles

34 : diagrames des linéarités et isotropie des dalles

35 : déplacements élastiques des supports des dalles pour les dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4)

4 - Analyse et interprétations des résultats expérimentaux

41 : en l'absence du gradient de la température

41,1 : déplacements verticaux des dalles

41,2 : déformations horizontales des dalles

41,3 : étude de la linéarité et de l'isotropie des dalles

42 : influence du gradient de temperature

42,1 : expression analytique des répartitions
42,2 : déplacements verticaux des dalles
42,3 : décollages des dalles

43 : calcul des modules d'Young des supports pour les supports des dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4)

44 : comparaisons des résultats théoriques et expérimentaux

44,1 : notions statistiques
44,2 : déplacements élastiques verticaux
44,3 : déformations élastiques horizontales
44,4 : discussion sur les validités des théories.

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

(x, y, z) : système coordonné rectangulaire

$\left\{\begin{matrix} \sigma_x & , \sigma_y & , \sigma_z \\ \tau_{xy} & , \tau_{xz} & , \tau_{yz} \end{matrix}\right\}$: les composants du champs de contrainte dans le système coordonné rectangulaire

$\left\{\begin{matrix} \varepsilon_x & , \varepsilon_y & , \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} & , \gamma_{xz} & , \gamma_{yz} \end{matrix}\right\}$: les composants du champs de déformation dans le système coordonné rectangulaire

$\left\{\begin{matrix} M_x & , M_y & , M_z \\ M_{xy} & , M_{xz} & , M_{yz} \end{matrix}\right\}$: les composants du champs du moment fléchissant dans le système de coordonné rectangulaire

(r, ψ, z) : système coordonné cylindrique

$\left\{\begin{matrix} \sigma_r & , \sigma_t & , \sigma_z \\ \tau_{rt} & , \tau_{rz} & , \tau_{tz} \end{matrix}\right\}$: les composants du champs de contrainte dans le système coordonné cylindrique

$\left\{\begin{matrix} \varepsilon_r & , \varepsilon_t & , \varepsilon_z \\ \gamma_{rt} & , \gamma_{rz} & , \gamma_{tz} \end{matrix}\right\}$: les composants du champs de déformation dans le système coordonné cylindrique

$(\varepsilon_r)_F$, $(\varepsilon_r)_B$, $(\varepsilon_r)_E$: les déformations radiales respectivement calculées par la théorie de FREMOND, de BURMISTER, mesurées par EXPERIMENTAL

$(\varepsilon_t)_F$, $(\varepsilon_t)_B$, $(\varepsilon_t)_E$: les déformations tangentielles respectivement calculées par la théorie de FREMOND, de BURMISTER, mesurées par EXPERIMENTAL

$\left\{\begin{matrix} M_r & , M_t & , M_z \\ M_{rt} & , M_{rz} & , M_{tz} \end{matrix}\right\}$: les composants du champs des moments fléchissants dans le système coordonné cylindrique

(u, v, w) : les composants du champs de déplacement dans les directions r , ψ , z

w_F , w_B , w_E : les déplacements verticaux respectivement calculés par la théorie de FREMOND, de BURMISTER, mesurés par EXPERIMENTAL

$\varphi(r,z)$: fonction de la contrainte

$\Phi(m,z) = H_0[\varphi]$: transformation de HANKEL d'ordre 0

$J_0(x)$: fonction de BESSEL de 1ère espèce d'ordre 0

$J_1(x)$: fonction de BESSEL de 1ère espèce d'ordre 1

E , ν , c : respectivement, le module de Young, coefficient de Poisson, coefficient de Lamé

h , R : respectivement l'épaisseur, rayon de la dalle

F , a : respectivement la force statique, rayon du chargement

θ , T : respectivement le champs de température, la température

$(\partial\theta/\partial z)$: la variation verticale de température ou le gradient de température entre la surface et l'interface de la dalle

λ , α : respectivement le coefficient de conductibilité, coefficient de dilatation

$K_0 = \frac{E_1}{E_2}$: le rapport des modules de Young des couches successives

$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu)^2}$: rigidité de flexion d'une plaque

r_0 , γ , δ : respectivement le coefficient de corrélation, coefficient de régression, la coordonnée d'origine.

t : le temps

I N T R O D U C T I O N

1/- GENERALITES

Une chaussée est un ensemble de couches de matériaux de caractéristiques diverses, disposées sur un terrain préparé, et que l'on destine à supporter la circulation des véhicules .

Il y a, en matière de construction routière, deux supports, l'un théorique, à base de mathématiques, l'autre, expérimental; ces deux supports ne sont pas, en fait, indépendants l'un de l'autre, le deuxième servant à contrôler le premier.

Pour des conditions d'utilisation de la chaussée, on peut espérer atteindre un dimensionnement assez satisfaisant à l'époque actuelle, pour le coût le plus bas.

Une des méthodes de dimensionnement est l'utilisation des mathématiques, de la physique expérimentale associées à l'analyse fine des propriétés mécaniques des matériaux et, en particulier, leur fatique. Il est souhaitable, notamment, de tirer de l'outil mathématique, le maximum d'informations afin d'optimiser les schémas de structure.

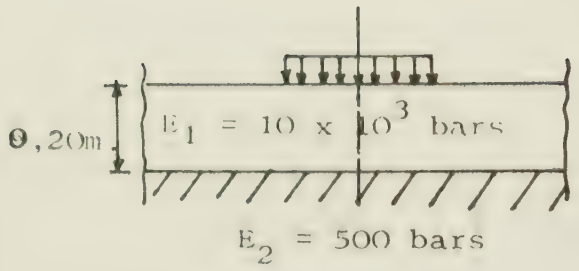
DISTINCTIONS PRINCIPALES DANS LES CHAUSSEES

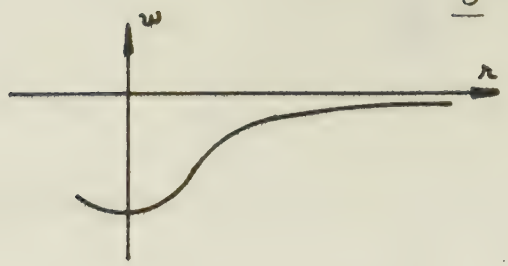
En général, on classe les chaussées en deux groupes principaux :

- les chaussées souples et les chaussées rigides.

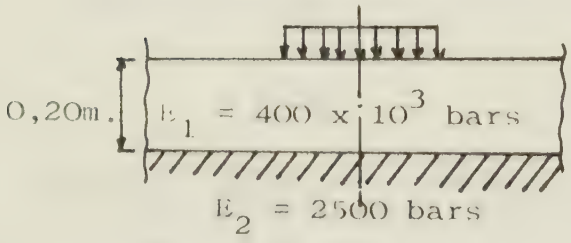
Les chaussées souples ont une zone d'influence de la charge relativement localisée, si on les compare aux chaussées rigides, et souvent, l'effet destructeur proviendra d'une dégradation du sol, alors que pour les chaussées rigides, ce sera une destruction de la partie supérieure de la chaussée.

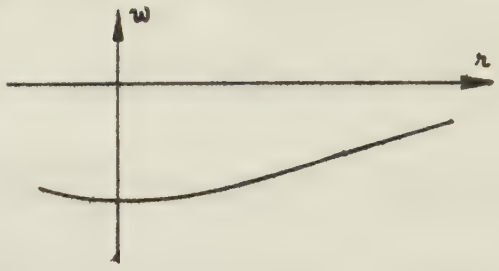
.....





(souple)





(rigide)

Chaussées souples : formées d'une couche de surface en matériaux bitumeux de faible épaisseur, d'une couche de base et d'une couche de fondation en matériaux non traités.

Chaussées rigides : formées d'une couche de surface en béton (matériaux traités) avec ou sans couche de fondation.

Enfin, on rencontre, actuellement, des chaussées semi-rigides aux matériaux traités, ou aux liants hydrauliques , ou aux matériaux bitumineux en couche épaisse.

2/- CHAUSSEES RIGIDES et leurs PROBLEMES SPECIFIQUES

Une chaussée dans la nature est soumise aux conditions climatiques.

Parmi les conditions importantes, on peut noter la teneur en eau du sol variable selon la saison .

Les conditions de température sont tell es que chaque feuillet(en admettant que les isothermes se situent dans des plans horizontaux), est porté à une certaine température. Compte tenu de la propagation de la chaleur (obtenue par la variation extérieure de la température), tous ces feuillets sont liés entre eux par des conditions de compatibilités telles qu'en général, chaque feuillet ne peut pas se dilater librement, à la température à laquelle il est soumis. Il y a donc certaines contraintes thermiques qui conduisent à ces déformations.

En général, les dalles de béton contiennent des joints pour éviter une fissuration désordonnée lors de la prise du béton. Ces joints sont des points faibles pour les chaussées rigides, les contraintes mécaniques étant plus fortes aux bords, par suite de la discontinuité. Il faut donc éviter que les matériaux de fondations ne se disloquent dans ces zones dangereuses.

En conséquence, les problèmes essentiels seront de mettre en relation le comportement ultérieur d'une chaussée selon sa structure avec le trafic supporté et les conditions climatiques qu'elle sera amenée à subir.

Pour que des méthodes de calcul soient intéressantes, il faut que les hypothèses soient représentatives de la réalité du comportement des chaussées en général. Cependant, il y aura des limitations à cette approche, qui proviendront d'une méconnaissance du comportement mécanique des matériaux ou de la transposition des phénomènes physiques.

On peut, en particulier, noter que les conditions aux limites sont souvent difficiles à circonscrire car elles font intervenir des frottements et des phénomènes irréversibles souvent très mal connus.

D'autre part, sur le plan expérimental, des limites de précisions existeront dûes à ce que la disparition d'une chaussée est lente, et sa rupture progressive, ce qui ne permet pas de trouver une cause unique à leur dégradation.

On s'efforcera ici de démontrer le bien-fonde d'un modèle mathématiques pour des dalles en béton, faisant intervenir les dimensions limites de la dalle et l'effet des gradients thermiques.

Faisons l'historique de quelques modèles mathématiques :

- en 1885, BOUSSINESQ a étudié le comportement d'un massif élastique, homogène, semi-infini, chargé en surface par une force concentrée ou des pressions réparties sur une surface.

- en 1926, WESTERGAARD a calculé les déformations de plaques de béton appuyées sur un sol déformable en formulant l'hypothèse de proportionnalité entre la déformation verticale et l'effort transmis à la fondation.

- en 1938, HOGG a étudié le problème de la plaque posée sur un milieu de BOUSSINESQ.

- en 1943, BURMISTER a étudié la position d'une dalle infinie sur un milieu de BOUSSINESQ.

Onse propose ici de regarder la validité de certaines représentations des structures en étudiant les cas :

- d'un bicouche infini (en considérant l'hypothèse de BURMISTER)

- d'une dalle de dimensions finies (en considérant l'hypothèse de FREMOND.

.....

Le but de ce travail est de montrer la concordance entre les résultats théoriques et les résultats expérimentaux obtenus sur les dalles de dimensions finies.

o

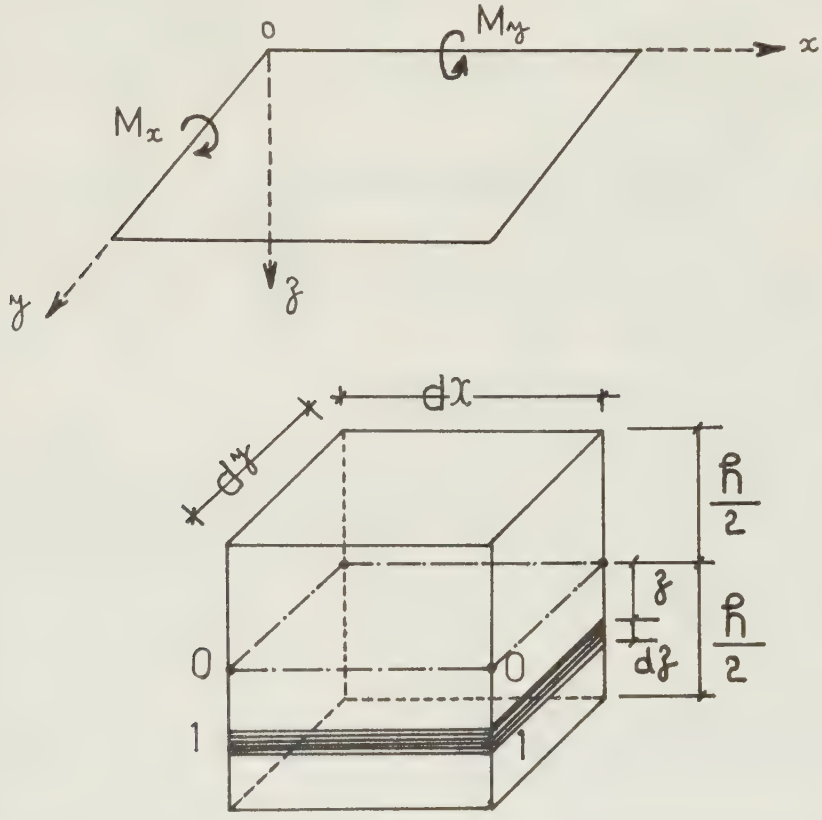
o o

C H A P I T R E 1

ETUDE THEORIQUE DES CHAUSSEES RIGIDES

1°/- FLEXION DES PLAQUES MINCES -*

On fait coïncider le plan xoy avec le plan moyen de laplaque, avant la flexion, de telle façon que les axes ox , oy soient dans le prolongement des côtés de la plaque. Découpons un élément de la plaque limité par deux plans parallèles aux plans xoz, yoz.



(schéma - 1)

Soit h l'épaisseur de la plaque que l'on considère petite par rapport aux deux autres dimensions.

On suppose que pendant la flexion, les côtés latéraux ne subissent aucun allongement, donc que la surface moyenne sera la surface neutre.

.....

* la référence (2)

Utilisant la loi de HOOKE, les contraintes correspondantes dans le feuillet(1,1)auront pour expression :

$$\left|\begin{array}{ll} \sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x - \nu\,\varepsilon_y) & \varepsilon_x = \frac{z}{r_x} \\ \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y - \nu\,\varepsilon_x) & \varepsilon_y = \frac{z}{r_y} \end{array}\right.$$

$$\left|\begin{array}{l} \sigma_x = \frac{E\cdot z}{1-\nu^2}(1/r_x + \nu\,1/r_y) \\ \sigma_y = \frac{E\cdot z}{1-\nu^2}(1/r_y + \nu\,1/r_x) \end{array}\right.$$

$$\int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x \cdot z \cdot dy \cdot dz = M_x \cdot dy \quad , \quad \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y \cdot z \cdot dx \cdot dy = M_y \cdot dx$$

$$(1)\quad M_x = D(1/r_x + \nu\,1/r_y) = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)$$

$$(2)\quad M_y = D(1/r_y + \nu\,1/r_x) = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)$$

avec $D = \frac{E\cdot h^3}{12\cdot(1-\nu^2)}$

Cas de la plaque circulaire

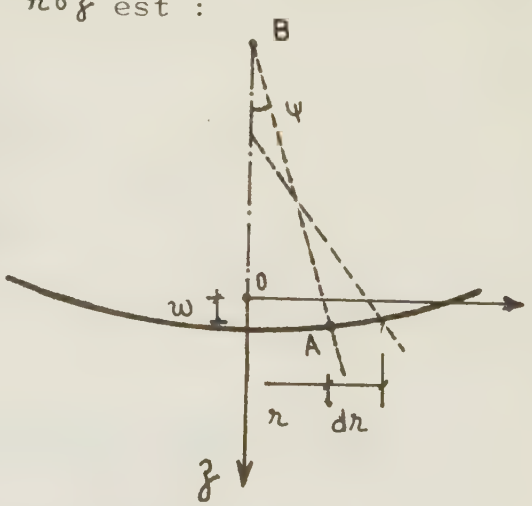
Soit O l'origine des coordonnées au centre de la plaque non flachie, et la courbure principale de la surface moyenne de la plaque que l'on a donc pour $r\,o\,z$ est :

$$\frac{1}{r_m} = -\frac{d^2w}{dr^2} = \frac{d\psi}{dr} \quad , \quad \psi = \frac{dw}{dr}$$

La seconde courbure principale est située dans la section passant par la normale AB et perpendiculaire au plan $r\,o\,z$

$$\frac{1}{r_t} = -\frac{1}{r}\frac{dw}{dr} = \frac{\psi}{r}$$

En supposant que les relations (1) et (2) calculées pour la flexion pure sont aussi valables pour ces moments et ces courbes.



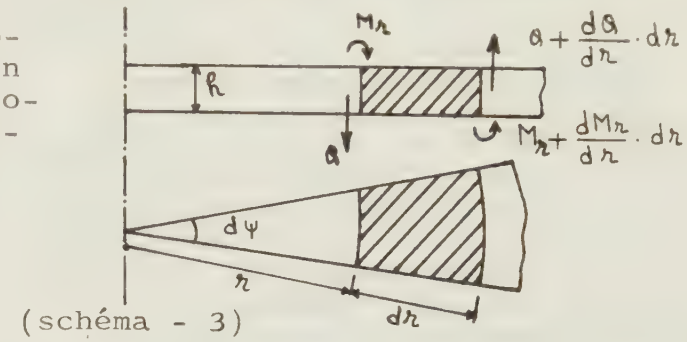
(schéma - 2)

.....

En utilisant ces relations, on trouve :

$$\begin{cases} M_r = -D\left(\dfrac{d^2w}{dr^2} + \dfrac{\nu}{r}\dfrac{dw}{dr}\right) = D\left(\dfrac{d\psi}{dr} + \dfrac{\nu}{r}\psi\right) & (3) \\ M_t = -D\left(\dfrac{1}{r}\dfrac{dw}{dr} + \nu\dfrac{d^2w}{dr^2}\right) = D\left(\dfrac{\psi}{r} + \nu\dfrac{d\psi}{dr}\right) & (4) \end{cases}$$

Les équations (3) et (4) ne comportent qu'une variable w ou ψ, que l'on détermine en considérant un élément en équilibre de la plaque. On fait la somme des moments agissants, tout en négligeant le moment produit par la charge extérieure, et on obtient l'équation d'équilibre suivante :



(schéma - 3)

$$\left(M_r + \frac{dM_r}{dr}\cdot dr\right)(r+dr)\,d\psi - M_r\cdot r\,d\psi - M_t\,dr\cdot d\psi + Q\cdot r\cdot d\psi\cdot dr = 0$$

ou $$M_r + \frac{dM_r}{dr}\cdot r - M_t + Q\cdot r = 0 \quad , \quad \frac{dM_r}{dr} + \frac{M_r - M_t}{r} + Q = 0 \qquad (5)$$

en remplaçant M_r , M_t par leur valeur (3) et (4), on obtient :

$$\frac{d^2\psi}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\psi}{dr} - \frac{\psi}{r^2} = -\frac{Q}{D} \quad (6), \qquad \frac{d^3\psi}{dr^3} + \frac{1}{r}\frac{d^2w}{dr^2} - \frac{1}{r^2}\frac{dw}{dr} = \frac{Q}{D} \quad (7)$$

l'intégration de ces équations est simplifiée si on les écrit sous la forme :

$$\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}(r\cdot\psi)\right] = -\frac{Q}{D} \quad (8) \quad , \qquad \frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\cdot\frac{dw}{dr}\right)\right] = \frac{Q}{D} \quad (9)$$

Parfois, il est préférable de représenter le second membre de (9) sous forme de fonction de l'intensité p de la charge répartie sur la plaque.

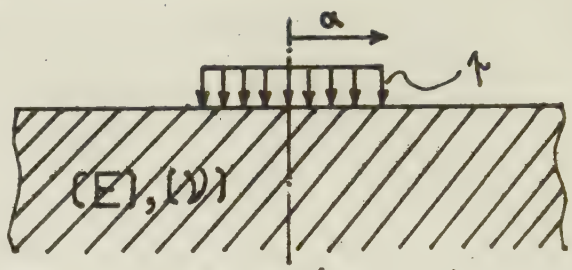
$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left\{r\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dw}{dr}\right)\right]\right\} = \frac{p}{D} \qquad (10)$$

.....

2°/- CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES MODELES CLASSIQUES

2°-1 - Le modèle de BOUSSINESQ

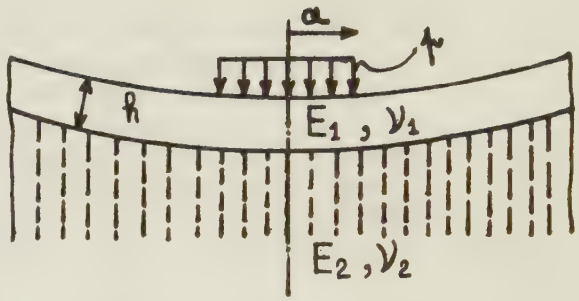
BOUSSINESQ considère une chaussée comme un massif élastique, homogène semi-indéfini. Il a calculé les contraintes et les déformations sous la charge uniformément répartie sur un cercle de centre O et de rayon a.



(schéma - 4)

2°-2- Le modèle de WESTERGAARD

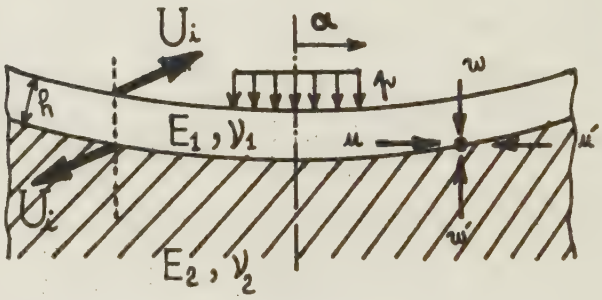
Ce modèle étudie les chaussées en supposant l'hypothèse de proportionnalité : (si un élément $d\sigma$ du feuillet moyen de la dalle se déplace verticalement d'une quantité w, il y a une relation $p = \ell . w$ où p est la réaction du sol sur l'élément $d\sigma$ et ℓ est le coefficient de proportionnalité). Le sol est alors assimilé à un liquide dense que l'on représente par un assemblage de ressorts.



(schéma - 5)

2°-3- Le modèle de HOGG

HOGG suppose que la première couche fonctionne comme une plaque (les déplacements des surfaces et les interfaces sont symétriques par rapport à la surface moyenne $(U_i)_{+\frac{h}{2}} = (U_i)_{-\frac{h}{2}}$) appuyée sur un milieu de BOUSSINESQ. De plus, tous les points d'intersection de l'interface suivent les conditions suivantes :



(schéma - 6)

adhérence parfaite ; $u = u'$ et $w = w'$

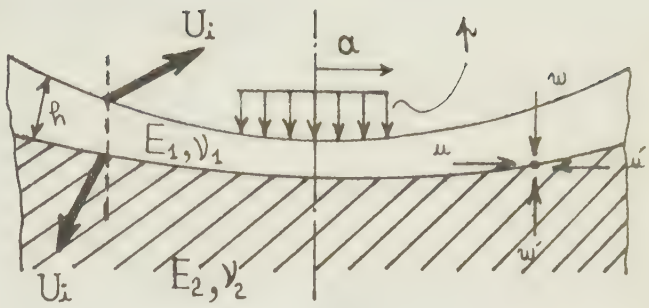
glissement : $u \neq u'$ et $w = w'$

2° - 4- LE MODELE DE BURMISTER

Dans ce modèle, la première couche travaille comme une dalle (les déplacements des surfaces et les interfaces ne sont plus symétriques par rapport à la surface moyenne

$(U_i)_{+h/2} \neq (U_i)_{-h/2}$)

appuyée sur un milieu de BOUSSISNECQ. De plus, on peut avoir les conditions suivantes :



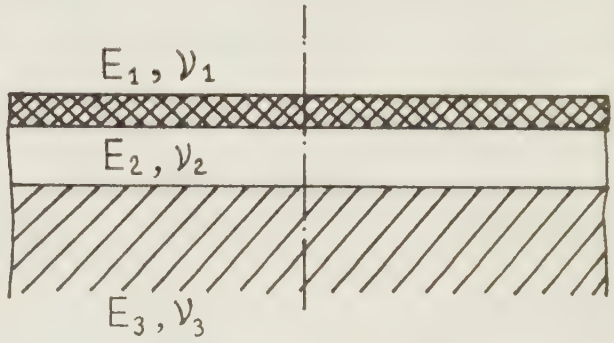
(schéma - 7)

soit : $(u = u', w = w)$ adhérence parfaite

soit : $(u \neq u', w = w)$ glissement

2° - 5- LE MODELE DE JEUFFROY BACHELEZ

Le modèle de JEUFFROY est un modèle tricouche dans lequel on considère une structure dont la prémière couche est une plaque, la deuxième est une dalle posée sur un milieu de BOUSSINESQ

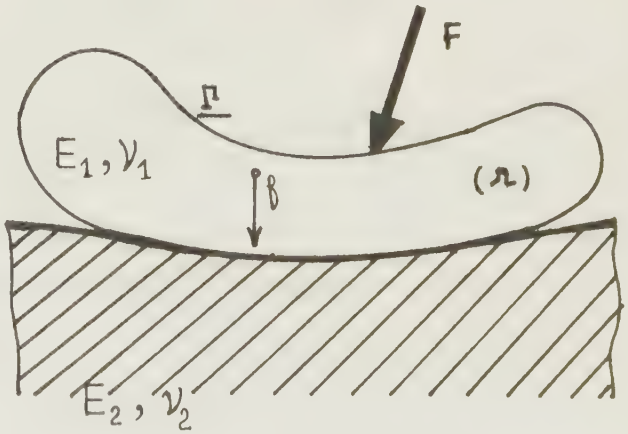


(schéma - 8)

2° - 6 - LE MODELE DE FREMOND

C'est un solide élastique, reposant sur un milieu de BOUSSINESQ. Ce modèle est très général. Le solide possède une forme quelconque avant application de la charge.

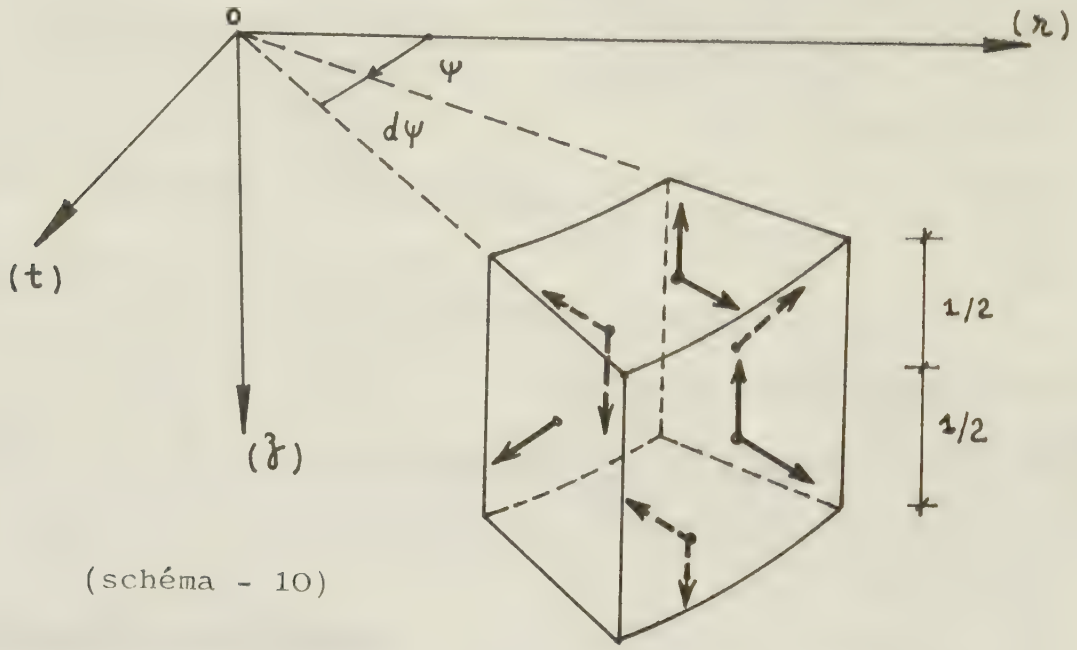
Ce modèle tient compte des forces de volume.



(schéma - 9)

3°/- PRINCIPES DE CALCUL DE DEUX MODELES

3°- 1 - Chaussées de dimensions infinies, en plan, * - Modèle de BURMISTER



(schéma - 10)

$\sigma_r + \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_r}{\partial r}\cdot dr$ $\qquad$ $\sigma_r - \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_r}{\partial r}\cdot dr$

σ_t $\qquad$ σ_t

$\sigma_z + \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}\cdot dz$ $\qquad$ $\sigma_z - \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}\cdot dz$

$\tau_{rz} + \frac{1}{2}\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r}\cdot dr$ $\qquad$ $\tau_{rz} - \frac{1}{2}\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r}\cdot dr$

$\tau_{zr} + \frac{1}{2}\frac{\partial \tau_{zr}}{\partial z}\cdot dz$ $\qquad$ $\tau_{zr} - \frac{1}{2}\frac{\partial \tau_{zr}}{\partial z}\cdot dz$

On travaille en coordonnées cylindriques

3°/ 11-Equation d'équilibre

On fait la somme de toutes les forces agissant sur l'élément dans la direction des r et z on obtient donc les équations suivantes :

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \dfrac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \dfrac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = 0 & (11) \\ \dfrac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \dfrac{\tau_{rz}}{r} = 0 & (12) \end{cases}$$

* références (3), (4), (5)

3°- 12 : Equations de comptabilité

En coordonnées cartésiennes, l'une des conditions de comptabilité s'écrit :

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x . \partial y} \quad , \quad (1+\nu)\Delta\sigma_x + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} = 0$$

En transformant maintenant en coordonnées cylindriques, nous obtenons :

$$\begin{cases} \Delta\sigma_r - \frac{2}{r^2}(\sigma_r - \sigma_t) + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2 \Theta}{\partial r^2} = 0 & (13) \\ \Delta\sigma_t + \frac{2}{r^2}(\sigma_r - \sigma_t) + \frac{1}{1+\nu}\frac{1}{r}\frac{\partial \Theta}{\partial r} = 0 & (14) \\ \Delta\sigma_z + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} = 0 & (15) \\ \Delta\tau_{rz} - \frac{1}{r^2}\tau_{rz} + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2 \Theta}{\partial r . \partial z} = 0 & (16) \end{cases}$$

avec $\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ $\qquad \Theta = \sigma_r + \sigma_t + \sigma_z$

3°- 13 - Expressions des contraintes en fonction des Déplacements

Les expressions des contraintes en fonction des déformations s'écrivent :

$$\sigma_r = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left[(1-\nu)\varepsilon_r + \nu(\varepsilon_t + \varepsilon_z)\right] \quad (17)$$

$$\sigma_t = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left[(1-\nu)\varepsilon_t + \nu(\varepsilon_r + \varepsilon_z)\right] \quad (18)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left[(1-\nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_r + \varepsilon_t)\right] \quad (19)$$

$$\tau_{rz} = \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{rz} \quad (20)$$

3°- 14 - Solutions générales du problème

La solution générale du problème a été donnée par LOVE en utilisant une fonction de contrainte φ . En utilisant ici la fonction de contrainte φ , on peut vérifier facilement par substitution que les équations (11), (12), (13), (14), (15), (16) sont satisfaites si l'on prend :

$$u = -\frac{1+\nu}{E}\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r . \partial z} \quad (21)$$

$$w = \frac{1+\nu}{E}\left[2(1-\nu)\Delta\varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right] \quad (22)$$

$$\sigma_r = \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu\Delta\varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}\right] \quad (23)$$

$$\sigma_t = \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu\Delta\varphi - \frac{1}{r}\frac{\partial \varphi}{\partial r}\right] \quad (24)$$

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z}\left[(2-\nu)\Delta\varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right] \quad (25)$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial}{\partial r}\left[(1-\nu)\Delta\varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right] \quad (26)$$

et aussi $\Theta \equiv \sigma_r + \sigma_t + \sigma_z = (1+\nu)\frac{\partial}{\partial z}\Delta\varphi$. En remplaçant les valeurs (21),(22), (23), (24), (25) (26) aux équations (11) (12),(13), (14), (15), (16), on obtient :

$$\boxed{\Delta\Delta\varphi = 0} \qquad (27)$$

3°-15 - Transformation de HANKEL

Pour résoudre un système d'équations aux dérivées partielles, on applique la méthode des transformations intégrales. En général, la difficulté de la résolution du problème dans le système de coordonnées d'origine est remplacée par la difficulté de la transformation inverse ramenant la solution obtenue dans le nouveau système à la solution exprimée dans l'ancien système de coordonnées. La transformation de Hankel d'ordre m est définie par :

$$\mathbb{H}[f(r,z)] \equiv \mathbb{F}(m,z) \equiv \int_0^{+\infty} [r \cdot J_m(mr)]\, f(r,z)\cdot dr \qquad (28)$$

Cette transformation permet de passer d'un système de coordonnées (r, z) au système de coordonnées (m,z). La transformation inverse est définie par :

$$f(r,z) \equiv \mathbb{H}^{-1}[\mathbb{F}(m,z)] \equiv \int_0^{+\infty} [m J_m(mr)]\, \mathbb{F}(m,z)\cdot dm \qquad (29)$$

3°- 16 - Détermination de la fonction de contrainte φ

Si l'on applique la transformation de HANKEL d'ordre zéro à l'équation $\Delta\Delta\varphi = 0$, on est amené à résoudre une équation différentielle du 4ème ordre en Φ avec :

$$\Phi(m,z) = \int_0^{\infty} [r J_0(mr)]\, \varphi(r,z)\cdot dr$$

$$\boxed{\left(\frac{d^2}{dz^2} - m^2\right)^{(2)} [\Phi] = 0} \qquad (30)$$

On peut écrire la solution générale de cette équation sous la forme :

$$\Phi(m,z) = Y(m)\left[(A+Cz)\cdot e^{+mz} - (B+Dz)\, e^{-mz}\right] \qquad (31)$$

où Y (m) est une fonction arbitraire de m et A, B, C; D des coefficients dépendant en général de m.

3° - 17 - Expression de déplacements et des contraintes

Ayant Φ , on obtient φ par une transformation inverse

$$\varphi(r,z) = \int_0^{+\infty} [m J_0(mr)]\, \Phi(m,z)\cdot dm \qquad (32)$$

$$\varphi(r,z) = \int_0^{+\infty} [m J_0(mr)]\, Y(m)\left[(A+Cz)\, e^{+mz} - (B+Dz)\, e^{-mz}\right]\cdot dm \qquad (33)$$

Les expressions de déplacements et des contraintes peuvent s'écrire :

$$u = -\frac{1+\nu}{E}\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r.\partial z} = \frac{1+\nu}{E}\int_0^{+\infty} Y(m)\left\{\left[A m^2 + C m(1+mz)\right] e^{mz} + \left[B m^2 - D m(1-mz)\right] e^{-mz}\right\}. J_1(mr)\, dm \qquad (34)$$

Nous adoptons la convention d'écriture suivante :

$$\varphi(r,z) = \int_0^{+\infty} \varphi^* dm \quad , \quad \varphi^* = \left[m J_0(mr)\right]\Phi(m,z) \qquad (35)$$

On a, de façon analogue d'après (34) $u = \int_0^{+\infty} u^* dm$

En remplaçant par son expression donnée par (33) dans les formules (21)... (26) et conformément à la convention qu'on vient d'adopter, on peut écrire :

$$u^* = \frac{1+\nu}{E} Y(m)\left\{\left[A m^2 + C m(1+mz)\right] e^{mz} + \left[B m^2 - D m(1-mz)\right] e^{-mz}\right\}. J_1(mr) \qquad (36)$$

$$w^* = -\frac{1+\nu}{E} Y(m)\left\{\left[A m^2 - C m(2-4\nu-mz)\right] e^{mz} - \left[B m^2 + D m(2-4\nu+mz)\right] e^{-mz}\right\}. J_0(mr) \qquad (37)$$

$$\sigma_z^* = -Y(m)\left\{\left[A m^2 - C m(1-2\nu-mz)\right] e^{mz} + \left[B m^2 + D m(1-2\nu+mz)\right] e^{-mz}\right\}. m J_0(mr) \qquad (38)$$

$$\tau_{rz}^* = Y(m)\left\{\left[A m^2 + C m(2\nu+mz)\right] e^{mz} - \left[B m^2 - D m(2\nu-mz)\right] e^{-mz}\right\}. m J_1(mr) \qquad (39)$$

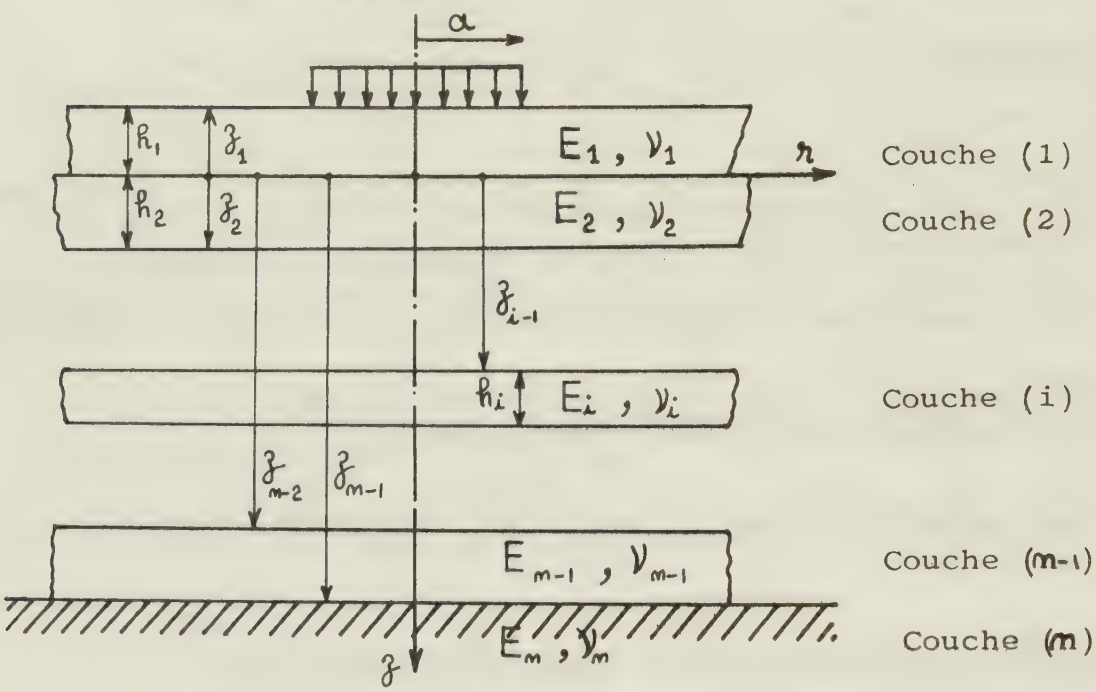
$$\Theta^* = 2(1+\nu) Y(m)\left\{C m. e^{mz} - D m. e^{-mz}\right\} m J_0(mr) \qquad (40)$$

$$\sigma_t^* = \frac{1}{1+\nu}\left[\nu \Theta^* + E\frac{u^*}{r}\right] \qquad (41)$$

$$\sigma_r^* = \Theta^* - \sigma_z^* - \sigma_t^* \qquad (42)$$

il reste à préciser le choix de Y (m) et à déterminer A, B, C, D. Ces dernières dépendent de m ainsi que des conditions aux limites du problème.

3°- 18. Solution particulière dans le cas du modèle de BURMISTER



(Schéma- 11)

Dans la couche (i) on peut utiliser les formules (36)... 42 et par exemple

$$(u^*)_i = \frac{1+\nu_i}{E_i}\, Y(m) \left\{ \left[A_i m^2 + C_i m (1+mz) \right] e^{mz} + \left[B_i m^2 - D_i m (1-mz) \right] e^{-mz} \right\} \cdot J_1(mr)$$

CONDITIONS AUX LIMITES - notons par $\psi(r)$ la pression de charge et posons :

$$\psi(m) = \int_0^\infty [r J_0(mr)]\, \psi(r) \cdot dr$$

$$\psi(r) = \int_0^\infty [m J_0(mr)]\, \psi(m) \cdot dm$$

On a aussi $\psi(r) = \int_0^\infty \psi^* \, dm$ avec $\psi^* = J_0(mr) \cdot \psi(m)$

A la surface $(z = -h_1)$ on doit avoir :

$$\forall r \quad , \quad (\sigma_z)_1 = +\psi(r) \quad , \quad (\tau_{rz})_1 = 0$$

Ou $\forall m$, $(\sigma_z^*)_1 = +\psi^*$, $(\tau_{rz}^*)_1 = 0$

D'après (38) et (39) on a

$$-y(m)\left\{\left[A_1 m^2 - C_1 m(1-2\nu_1+mh_1)\right]e^{-mh_1} + \left[B_1 m^2 + D_1 m(1-2\nu_1-mh_1)\right]e^{+mh_1}\right\} m J_0'(mr) = m J_0(mr)\cdot\psi(m) \quad (43)$$

$$y(m)\left\{\left[A_1 m^2 + C_1 m(2\nu_1-mh_1)\right]e^{-mh_1} - \left[B_1 m^2 - D_1 m(2\nu_1+mh_1)\right]e^{+mh_1}\right\} m J_1(mr) = 0 \quad (44)$$

Posons maintenant $y(m) \equiv \psi(m)$ donc les conditions à la surface s'écrivent :

$$\begin{cases} z = -h_1 \\ \left[A_1 m^2 - C_1 m(1-2\nu_1+mh_1)\right]e^{-mh_1} + \left[B_1 m^2 + D_1 m(1-2\nu_1-mh_1)\right]e^{mh_1} = 1 \quad (45) \\ \left[A_1 m^2 + C_1 m(2\nu_1-mh_1)\right]e^{-mh_1} - \left[B_1 m^2 - D_1 m(2\nu_1+mh_1)\right]e^{mh_1} = 0 \quad (46) \end{cases}$$

A l'infini ($z = +\infty$) on doit avoir

$$(u^*)_m = 0 \quad , \quad A_m m^2 + C_m \cdot m(1+\infty) = 0$$

$$\begin{cases} z = +\infty : \quad A_m = 0 \quad (47) \quad , \quad C_m = 0 \quad (48) \end{cases}$$

Aux interfaces ($z = +z_i$) on doit avoir

$$\begin{cases} (u^*)_1 = (u^*)_2 \ , \ (w^*)_1 = (w^*)_2 \ , \ (\sigma_z^*)_1 = (\sigma_z^*)_2 \ , \ (\tau_{rz}^*)_1 = (\tau_{rz}^*)_2 \quad (49) \\ \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots \\ (u^*)_i = (u^*)_{i+1} \ , \ (w^*)_i = (w^*)_{i+1} \ , \ (\sigma_z^*)_i = (\sigma_z^*)_{i+1} \ , \ (\tau_{rz}^*)_i = (\tau_{rz}^*)_{i+1} \quad (50) \\ \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots \\ (u^*)_{m-2} = (u^*)_{m-1} \ , \ (w^*)_{m-2} = (w^*)_{m-1} \ , \ (\sigma_z^*)_{m-2} = (\sigma_z^*)_{m-1} \ , \ (\tau_{rz}^*)_{m-2} = (\tau_{rz}^*)_{m-1} \quad (51) \end{cases}$$

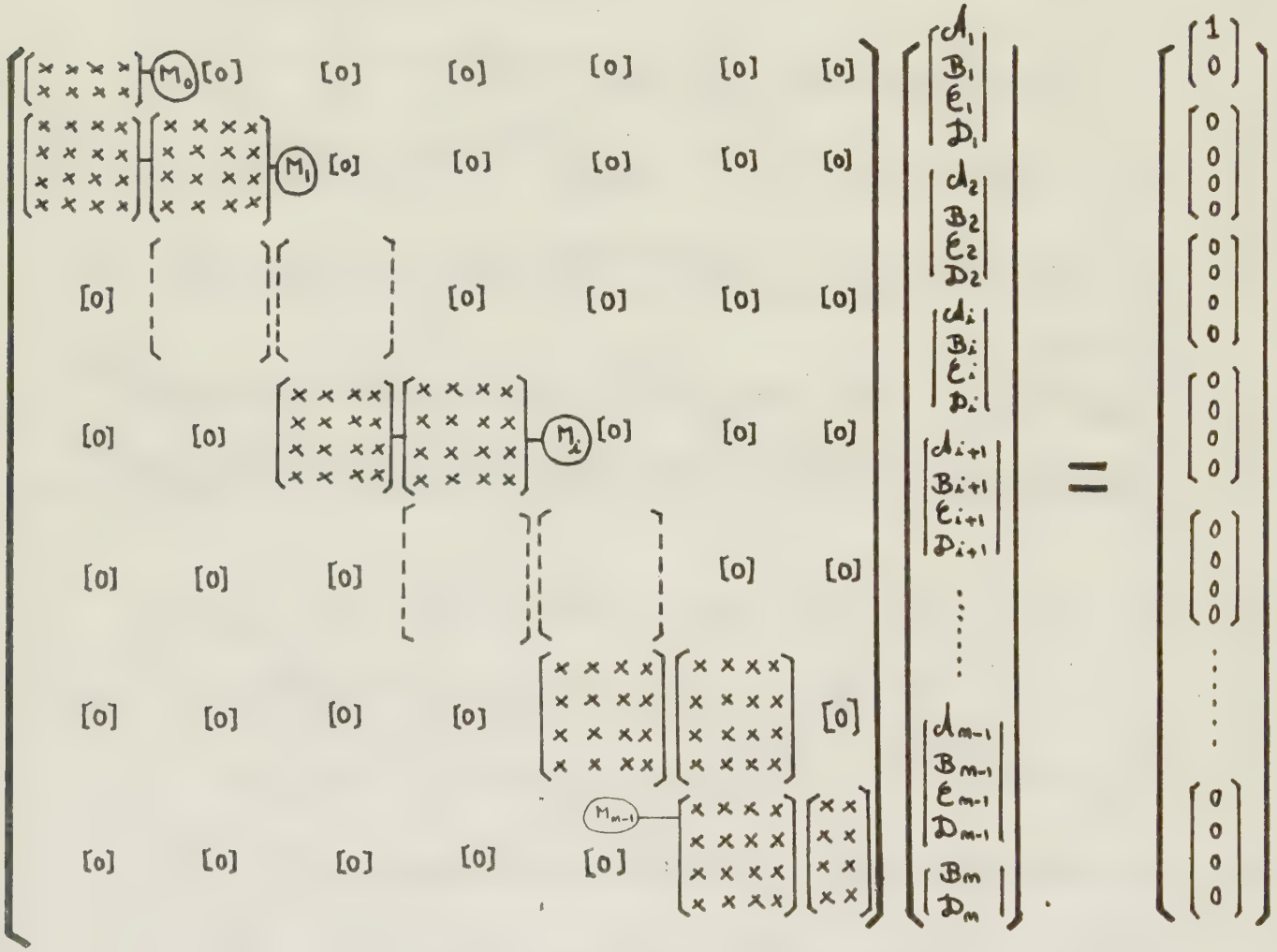
Les relations (45)...(51) forment un système $2+4(m-1) = 4m-2$

équations linéaires en $(4m - 2)$ inconnus comme

$$(A_1, B_1, C_1, D_1), \cdots (A_i, B_i, C_i, D_i), \cdots, (A_{m-1}, B_{m-1}, C_{m-1}, D_{m-1}), B_m, D_m$$

posons $\mathcal{A}_i = A_i m^2$, $\mathcal{B}_i = B_i m^2$, $\mathcal{C}_i = C_i m^2$, $\mathcal{D}_i = D_i m^2$

donc on peut écrire les systèmes d'équations linéaires sous la forme matricielle



avec une matrice de degré $(4m - 2)$ $(4m - 2)$, par exemple, la sous matrice M_o s'écrit :

$$\begin{bmatrix} e^{-mh_1}, & e^{mh_1}, & -(1-2\nu_1+mh_1)e^{-mh_1}, & (1-2\nu_1-mh_1)e^{mh_1} \\ e^{-mh_1}, & e^{mh_1}, & (2\nu_1-mh_1)e^{-mh_1}, & (2\nu_1+mh_1)e^{mh_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathcal{A}_1 \\ \mathcal{B}_1 \\ \mathcal{C}_1 \\ \mathcal{D}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

et si on pose $K_i = \dfrac{1+\nu_{i+1}/E_{i+1}}{1+\nu_i/E_i}$, la sous matrice M_i s'écrit :

$$
\begin{pmatrix}
e^{m\gamma_i} & e^{-m\gamma_i} & (1+m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & -(1-m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} & -k_i e^{m\gamma_i} & -k_i e^{-m\gamma_i} & -k_i(1+m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & k_i(1-m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} \\
e^{m\gamma_i} & -e^{-m\gamma_i} & -(2-4\nu_i-m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & -(2-4\nu_i+m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} & -k_i e^{m\gamma_i} & k_i e^{-m\gamma_i} & k_i(2-4\nu_{i+1}-m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & k_i(2-4\nu_{i+1}+m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} \\
e^{m\gamma_i} & e^{-m\gamma_i} & -(1-2\nu_i-m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & (1-2\nu_i+m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} & -k_i e^{m\gamma_i} & -k_i e^{-m\gamma_i} & k_i(1-2\nu_{i+1}-m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & -k_i(1-2\nu_{i+1}+m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} \\
e^{m\gamma_i} & -e^{-m\gamma_i} & (2\nu_i+m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & (2\nu_i-m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} & -k_i e^{m\gamma_i} & k_i e^{-m\gamma_i} & -k_i(2\nu_{i+1}+m\gamma_i)e^{m\gamma_i} & -k_i(2\nu_{i+1}-m\gamma_i)e^{-m\gamma_i}
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \\ D_i \\ A_{i+1} \\ B_{i+1} \\ C_{i+1} \\ D_{i+1} \end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
$$

Et par exemple, l'expression (38) résulte de la forme suivante :

$$A_i e^{m\gamma_i} + B_i e^{-m\gamma_i} + C_i(1+m\gamma_i)e^{m\gamma_i} - D_i(1-m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} - k_i A_{i+1} e^{m\gamma_i} - k_i B_{i+1} e^{-m\gamma_i} - C_{i+1} k_i (1+m\gamma_i)e^{m\gamma_i} + k_i D_{i+1}(1-m\gamma_i)e^{-m\gamma_i} = 0$$

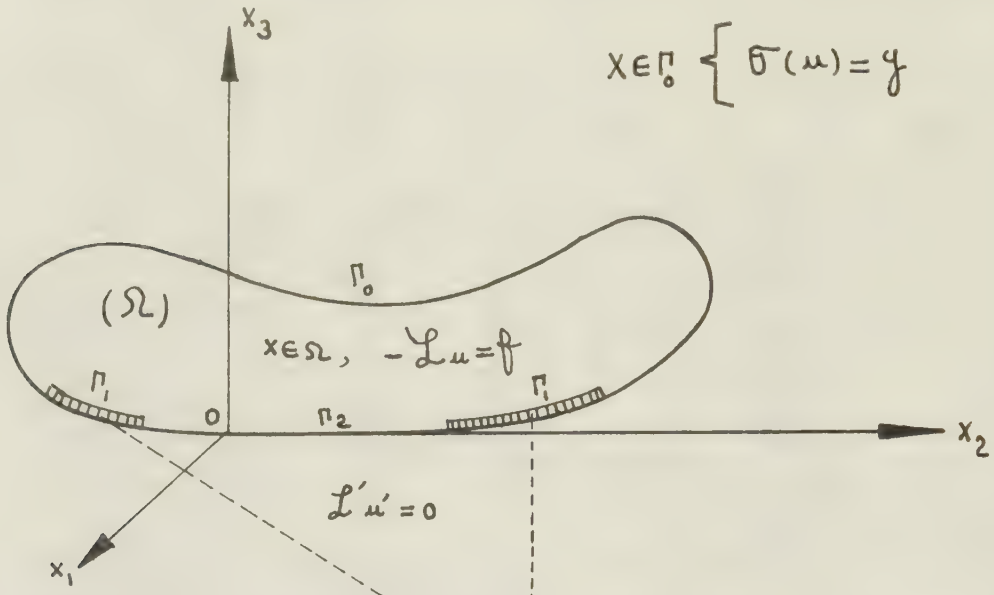
où $$[A_i + C_i(1+m\gamma_i)]e^{m\gamma_i} + [B_i - D_i(1-m\gamma_i)]e^{-m\gamma_i} = k_i\left\{[A_{i+1} + C_{i+1}(1+m\gamma_i)]e^{m\gamma_i} + [B_{i+1} - D_{i+1}(1-m\gamma_i)]e^{-m\gamma_i}\right\}$$

Donc, après avoir calculé (4n-2) inconnus A_i, B_i, C_i, D_i à l'aide des (4n-2) équations linéaires, on peut calculer les valeurs des u^*, w^*, σ_z^*, τ_{rz}^*, σ_t^*, σ_r^* selon les formules (36)... (42). Il est évident que la résolution du système linéaire est très pénible. Il faut donc procéder à la résolution numérique du problème étudié à l'aide d'un ordinateur. Cette résolution numérique a effectivement fait l'objet d'un programme. Le programme ALIZE 3 réalisé par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Nous l'avons étudié pour une bi-couche (**m** = 2)

3° - 2 : Chaussées de dimensions définies (modèle de FREMOND)

3°- 21 - Enoncé du problème

3°- 211- Equation du problème *



(52)

$$x \in \Gamma_2 \left\{ \begin{array}{l} \sigma(u) + \sigma'(u') = g \\ u = u' \end{array} \right. , \quad x \in \Gamma_1 \left\{ \begin{array}{l} \sigma(u) + \sigma'(u') = g \\ u_3 - u'_3 \geqslant 0 \\ u_3 - u'_3 > 0 \longrightarrow \sigma'(u') = 0 \end{array} \right.$$

(schéma - 12)

Elles sont représentées sur le schéma (12), Γ_0:où il ne peut y avoir contact avec le sol, Γ_1: ou il peut y avoir contact, Γ_2: où il y a collage, sur cette partie de (Γ) il y a continuité des déplacements et des contraintes.

Une première difficulté dans la résolution de ce problème est la présence d'un domaine non borné de $\mathbb{R}^3$ (le semi-espace stratifié). Nous commençons donc par éliminer ce domaine.

* la référence (6)

.....

3 - 212 : Problème modifié

Nous allons utiliser lamatrice de Green Φ . Si le sol est soumis au vecteur contrainte v , son déplacement est $u' = \Phi * v$. En utilisant cette relation, les équations (52) deviennent

$$(53)\qquad x\in\Gamma_0 \begin{cases} \sigma(u)=g \end{cases} \qquad x\in\Gamma_1 \begin{cases} \sigma(u)+\sigma'(u')=g \\ \left(u-\Phi*\sigma'(u')\right)_3 \geqslant 0 \\ u-\Phi*\sigma'(u')_3 > 0 \end{cases} \qquad x\in\Gamma_2 \begin{cases} \sigma(u)+\sigma'(u')=g \\ u=\Phi*\sigma'(u') \end{cases}$$

3 - 213 : Résolution du problème modifié

On emploie une méthode variationnelle en exprimant que tout déplacement, à partir de la position d'équilibre, demande du travail. Calculons l'énergie potentielle du sol :

$$E' = \frac{1}{2}\int_{sol}\sum_{i,j=1}^{3}\sigma'_{ij}(u)\,\varepsilon'_{ij}(u)\,dx = \frac{1}{2}\int_{Sol}(-\mathcal{L}'u'\cdot u')\,dx + \frac{1}{2}\int_{\Gamma_2\cup\Gamma_1}\left(u'\cdot\sigma'(u')\right)d\Gamma$$

$$= \frac{1}{2}\int_{\Gamma_1\cup\Gamma_2}\left(\sigma'(u'),\,\Phi*\sigma'(u')\right)d\Gamma = \frac{1}{2}\int_{\Gamma_1\cup\Gamma_2}(v.\,\Phi*v)\,d\Gamma \quad \text{car } \mathcal{L}'u'=0$$

posons $b(v,v') = \int_{\Gamma_1\cup\Gamma_2}(v.\Phi*v)\,d\Gamma$ et $L(u) = \int_{\Omega}(u\cdot f)\,dx + \int_{\Gamma}(g.u)\,d\Gamma$

l'énergie potentielle du système dalle-sol est :

$$J(u,v) = \frac{1}{2}\left[a(u,u)+b(v,v)\right] - L(u)$$

Le travail nécessaire pour passer de l'état (u,v) à l'état (u_1,v_1) est $a(u,u_1-u)+b(v,v_1-v)-L(u_1-u)$

pour résoudre le problème modifié, on cherchera $(\hat{u},\hat{v})$ tel que

$$\left[a(\hat{u},u-\hat{u})+b(\hat{v},v-\hat{v})\right]-L(u-\hat{u})\geqslant 0$$

le problème (I) : $\boxed{\forall(u,v)\in K\ ,\ \left[a(\hat{u},u-\hat{u})+b(\hat{v},v-\hat{v})\right]-L(u,\hat{u})\geqslant 0}$

$$K=\left\{(u,v)\mid u=\Phi*v \text{ sur } \Gamma_2\ ;\ u_3-(\Phi*v)_3\geqslant 0 \text{ sur } \Gamma_1\right\}$$

3°- 22 : Enoncé d'un problème général

Nous allons énoncer le problème sous une forme générale dont le problème (I) sera un cas particulier. On fait les hypothèses suivantes :

H1.) W est un hilbert séparable normé par $\|\cdot\|_W$ de produit scolaire $((\ , \ ))$

H2.) P_0 est une norme pré-hilbertienne sur W, P_1 est une semi-norme

$P_1 = \{ w \in W \mid P_1(w) = 0 \}$ est tel que :

1) P_1 est de dimension finie, 2) $P_0 + P_1$ est équivalent à $\| \cdot \|_W$

3) P_1 est sur W/P_1 une norme équivalente à la norme naturelle de W/P_1

H3.) K est un convexe fermé de W tel que $0 \in K$

H4.) L est une forme linéaire et continue sur W.

H5.) $K \cap P_1 = \{0\}$, ou bien $L(w) < 0$ si $w \in K \cap P_1$ et $w \neq 0$

H6.) $((K \cap P_1 = 0)$ et $w, \hat{w} \in K)$ ou $(K \cap P_1 \neq \{0\}$, et le segment $[w, \hat{w}] \notin K$ et $(w - w' \in P_1$ et $L(w - w') = 0)$ entraîne $w = w'$

H7.) A est un opérateur bilinéaire, continu, semi-coericif

$$\forall w, w' \in W, \quad |A(w, w')| \leqslant C_1 P_1(w) \cdot P_1(w), \quad C_1 > 0$$

$$\forall w \in W, \quad A(w, w') \geqslant C_2 P_1^2(w), \quad C_2 > 0$$

le problème général est : trouver $\hat{w}$

$$\boxed{\forall w \in K, \; A(\hat{w}, w - \hat{w}) \geqslant L(w - \hat{w})}$$

3°- 23 : Enoncé d'un problème approché du problème général

On ajoute les hy. suivantes où m est un indice qui peut tendre vers l'infini

H8.) $\{ W_m, K_m, P_m, r_m \}$ est une approximation de K :

1) W_m est un sous-espace vectoriel de dimension finie de W.
K_m est un convexe fermé de W_m contenant l'origine O.

2) P_m est l'injection canonique de W_m dans W.
W_m est normé par $\| w_m \|_{W_m} = \| P_m w_m \|_W$

3) r_m est la projection de $w \in W$ sur K_m

4) l'approximation est convergente

$$\forall w \in K, \quad \lim_{m \to \infty} \| w - P_m r_m w \|_W = 0$$

5) si $z_m \in K_m$ et $P_m z_m$ tend faiblement vers z dans W alors $z \in K$

H 9) A_m et L_m sont des opérateurs définis sur W_m possédant les propriétés :

Si $P_m w_m$ converge faiblement vers w on a $\forall\, \acute{w} \in K$:

$$\lim_{m\to\infty} A_m(P_m w_m, r_m \acute{w}) = A(w, \acute{w}) \quad , \quad \lim_{m\to\infty} A_m(r_m \acute{w}, P_m w_m) = A(\acute{w}, w)$$

$$\lim_{m\to\infty} A_m(r_m \acute{w}, r_m \acute{w}) = A(\acute{w}, \acute{w}) \quad , \quad \lim_{m\to\infty} L_m(P_m w_m) = L(w)$$

A_m , L_m et W_m vérifient de plus les hypothèses suivantes qui sont les analogues discrètes de H4, H5, H6, H7.

HA1.) $L_m(w_m) < 0$ si $w_m \in K_m$, $P_m w_m \in P_1$ et $w_m \neq 0$

HA2.) $(P_m(K_m) \cap P_1 = 0$ et $w_m, \acute{w}_m \in K_m)$ ou $(P_m(K_m) \cap P_1 \neq \{0\}$ et $w_m, \acute{w}_m \in \partial K_m)$

et $\left(P_m(w_m - \acute{w}_m) \in P_1 \text{ et } L_m(w_m - \acute{w}_m) = 0\right)$ entraîne $w_m = \acute{w}_m$.

HA3.) A_m est bilinéaire, bi-continue et semi-coercive

$$\forall\, w_m, \acute{w}_m \in W_m \ , \ |A_m(w_m, \acute{w}_m) \leqslant C_3\, P_1(P_m w_m)\, P_1(P_m \acute{w}_m)$$

$$\forall\, w_m \in W_m \ , \ A_m(w_m, w_m) \geqslant C_4\, P_1^2(P_m w_m)$$

HA 4.) L_m est un opérateur linéaire continu tel que :

$\|L_m\| \leqslant C_5$ ou C_5 est indépendant de m

Le problème approché du problème général est :

trouver $\hat{w}_m \in K_m$ tel que:

$$\boxed{\forall\, w_m \in K_m \ , \ A_m(\hat{w}_m, w_m - \hat{w}_m) \geqslant L_m(w_m - \hat{w}_m)}$$

3°- 24 - Résolution d'un problème approché

Théorème 1 : sous les Hy. H2, H8, HA1, HA3, HA4, le problème approché admet une solution $\hat{w}_m$ tel que $\hat{w} \in \partial K_m$ si $K_m \cap P_1 \neq \{0\}$.

Théorème 2 - Avec les hypothèses du théorème 1 et HA2 la solution du problème approché $\hat{w}_m$ est unique.

3° - 25 : Résolution d'un problème général

Théorème 1 : Sous les hypothèses H1, H2, H3, H4, H5, H7, H8, H9, HA1, HA3, HA4, le problème général possède une solution $\hat{w}$ qui n'est pas un point interne de K si $K \cap P_1 \neq \{0\}$

Théorème 2 : Avec les hypothèses du théorème 1 et H6, la solution du problème général est unique.

3° - 26 : Convergence des solutions approchées vers la solution générale

Théorème 1 : Sous les H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H9, HA1, HA2, HA3, HA4, les solutions uniques $\hat{w}_m$ des problèmes approchés convergent fortement vers $\hat{w}$ solution du problème général.

3° - 27 : Application au problème (I)

Revenons maintenant au problème (I) pour lequel nous avons déjà défini

$$a(u,u') = \int_\Omega \sum_1^3 \varepsilon_{ij}(u)\ \sigma_{ij}(u')\ dx$$

$$b(v,v') = \langle v, \phi * v' \rangle = \int_{\Gamma_1 \cup \Gamma_2} (v \cdot \phi * v')\ d\Gamma$$

$$L(u) = \int_\Omega (f \cdot u)\ dx + \int_\Gamma (g \cdot u)\ d\Gamma$$

appelons w le couple (u, v) et posons

$$A(w,w) = [a(u,u) + b(v,v)] \quad \text{et} \quad L(w) = L(w)$$

3° -271 : Vérification de H1

Définition de W : nous définissons deux espaces W_K suivant que $\Gamma_2 \neq \phi$ $(K=1)$ ou $\Gamma_2 = \phi$ $(K=2)$. W_K est un espace produit : $W_K = U_K \times V_K$ avec $u \in U_K$ et $v \in V_K$

a) définition de U_K $(K = 1,2)$:

$$U_1 = [H^1(\Omega)]^3 \quad , \quad U_2 = [H^1(\Omega)]^2/P_0 \times H^1(\Omega)$$

ou $P_0 = \{u \mid u = a + b \wedge x\ ;\ a_3 = b_2 = b_1 = 0;\ a_3, b_2, b_1$ sont des constantes

P_0 est l'ensemble des rotations d'axe vertical et des translations horizontales.

b) définition de V_K $(K=1, 2)$

$$\forall K \quad , \qquad V_K = \left[H^{-\frac{1}{2}} (\Gamma_2 \cup \Gamma_1) \right]^3$$

finalement $W_K = U_K \times V_K$ est l'espace des déplacements $u \in U_K$ et des contraintes $v \in V_K$ sur le sol d'origine élastique finie.

c) U_1 est normé par $$\| u \|^2_{U_1} = \| u \|^2_{L^2} + \sum_{i,j=1}^{3} \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2}$$

ou $$\| u \|^2_{L^2} = \sum_{i=1}^{3} \| u_i \|^2_{L^2(\Omega)} = \sum_{i=1}^{3} \int_\Omega | u_i |^2 dx$$

et U_2 est normé par $$\| u \|_{U_2} = \| u_3 \|^2_{L^2} + \sum_{i,j=1}^{3} \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2}$$

et V_K est normé par $$\| v \|^2_{V_K} = \sum_{i=1}^{3} \| v_i \|^2 H^{-1/2}(\Omega)$$

et W_K est normé par $$\| w \|_{W_K} = \| u \|_{U_K} + \| v \|_{V_K}$$

les espaces U_K et V_K étant des espaces de Hilbert séparables il en est de même de leur produit.

3 - 272 : Vérification de H2

a) définition de P_0 et P_1 : posons si $K=1$

$$P_0^2(w) = \| u \|^2_{L^2} + \tfrac{1}{2} \| v \|^2_V$$

$$P_1^2(w) = \sum_{i,j=1}^{3} \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2} + \tfrac{1}{2} \| v \|^2_V$$

si $K=2$

$$P_0^2(w) = \| u_3 \|^2_{L^2} + \tfrac{1}{2} \| v \|^2_V + \tfrac{1}{2} \left(\sum_{i,j=1}^{3} \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2} - \| \varepsilon_{33}(u) \|^2_{L^2} \right)$$

$$P_1^2(w) = \tfrac{1}{2} \| v \|^2_V + \tfrac{1}{2} \left(\sum_{i,j=1}^{3} \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2} + \| \varepsilon_{33}(u) \|^2_{L^2} \right)$$

b) il est facile de vérifier que P_0 est une norme préhilbertienne sur et que P_1 est une semi-norme.

c) on peut montrer que $P_1(w)$ est une norme équivalente à celle de W/P_1

$$\| w \|_{W/P_1} = \operatorname{Inf} \{ \| w - x \|_W \mid x \in P_1 \}$$

3 - 273 : vérification de H3

définition de K :

$$K = \{ w \in W \mid \gamma u - \phi * v = 0 \text{ sur } \Gamma_2 \ ; \ (\gamma u - \phi * v)_3 > 0 \text{ sur } \Gamma_2 \}$$

les inégalités ont lieu au sens de $H^{1/2}$. γ et l'opérateur de trace qui applique $[H^1(\Omega)]^3$ sur $[H^{1/2}(\Gamma)]^3$

K est convexe, il est fermé car les applications

$u \longrightarrow \gamma u$ et $v \longrightarrow \phi * v$ sont continues

de $[H^1(\Omega)]^3$ dans $[H^{+1/2}(\Gamma_2 \cup \Gamma_1)]^3$

et de $[H^{-1/2}(\Gamma_1 \cup \Gamma_2)]^3$ dans $[H^{1/2}(\Gamma_1 \cup \Gamma_2)]^3$

l'ensemble K est un cône convexe et fermé, c'est un sous-espace vectoriel de W si $\Gamma_1 = \phi$ il est formé de déplacements u et des contraintes v qui vérifient les contraintes à la limite essentielle.

3 - 274 : vérification de H4

on suppose que :

$$f \in [L^2(\Omega)]^3 \quad \text{et} \quad g \in [H^{-1/2}(\Gamma)]^3$$

on a $$L(w) = (f, u) + \langle g, \gamma u \rangle$$

où $(.,.)$ désigne le produit scalaire dans $[L^2(\Omega)]^3$ et $\langle \cdot , . \rangle$ la dualité entre $[H^{-1/2}(\Gamma)]^3$ et $[H^{1/2}(\Gamma)]^3$

Lorsque $k=2$ pour que $L(w)$ soit définie sur W_2 il faut que $L(w)$ soit nul pour $u \in P_0$. On retrouve là, la condition nécessaire pour que le problème (I) admette une solution signalée 3°-213 : le système des forces horizontales doit être équivalent à 0.

Dans ces conditions L est une fonctionnelle linéaire et continue sur W .

3°- 275 : Vérification de H5

Si $K=1$ on a: $K \cap P_1 = \{0\}$ en effet si $w \in P_1$:

$$w = (0, a + b \wedge x)$$

$v = 0 \longrightarrow \gamma u = 0$ sur Γ_2 $\qquad a + b \wedge x = 0$ sont a et $b = 0$

$K \cap P_1 = \{0\}$ signifie que l'on ne peut effectuer un déplacement d'ensemble de la dalle sans entrainer le sol.

Si $K=2$ on suppose que: $w \in K \cap P_1$, $w \neq 0 \longrightarrow L(w) < 0$

3°- 276 : Vérification de H6

1) $K=1$ nous allons montrer que $(w - w') \in P_1$ et $w, w' \in K$ entrainent $w = w'$

On a $w = w' - (0, a + b \wedge x)$, (a, b vecteurs constants)

donc sur Γ_2 : $\gamma u = \varphi * v = \gamma u'$ soit $\gamma u - \gamma u' = a + b \wedge x = 0$ donc

$$a = b = 0 \quad \text{et} \quad w = w'$$

2) $K=2$ Nous allons montrer que si le segment $[w, w']$ n'est pas interne à K et si $w - w' \in P_1$ on a $w = w'$

on a: $w = w' + (0, a + b \wedge x) \cdot$, $\lambda w + (1 - \lambda) w'$, $(\lambda \in]0, 1[)$

est tel que la dalle touche le sol. Sur la surface de contact on a : $\gamma u - \gamma u' = a + b \wedge x = 0$ soit $a = b = 0$ et $w = w'$

3°- 277 - Vérification de H7

On suppose que les $a_{ijhk}(x)$ sont tels que:

$$a(u, u') = \int_\Omega \sum_1^3 a_{ijhk}(x)\, \varepsilon_{ij}(u)\, \varepsilon_{hk}(u')\, dx \leqslant \alpha_1 \left(\sum_1^3 \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2} \right)^{1/2} \left(\sum_1^3 \| \varepsilon_{ij}(u') \|^2_{L^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

cela est réalisé si les $a_{ijhk}(x) \in L^\infty(\Omega)$ pour tout i, j, h, k

et que $\qquad a(u, u) \geqslant \alpha_2 \left(\sum_1^3 \| \varepsilon_{ij}(u) \|^2_{L^2} \right)$, $\alpha_2 > 0$

On sait que $\qquad b(v, v) \geqslant \alpha_3 \| v \|^2_{H^{-1/2}}$, $\alpha_3 > 0$

On pose : $\qquad A(w, w) = a(u, u) + b(u, u)$

On a donc $A(w, w) \geqslant c_2 P_1^2(w)$ et $|A(w, w')| \leqslant C_1 P_1(w) \cdot P_1(w')$

3°- 278 : Vérification de H8

H8 est l'approximation du convexe K par un convexe K_m de dimension finie sur lequel on peut faire des calculs numériques .

$\bar{\Omega}_m$ est maillage de $\bar{\Omega}$ formé de tétraedres. On définit de même un maillage Γ_m de Γ . On définit maintenant certains espaces sur Γ_m et $\bar{\Omega}_m$ et démontrons des théorèmes de densité pour ces espaces.

Définition : $H_m^1(\Omega)$ est l'espace des fonctions continues sur $\bar{\Omega}$ affinées par morceaux sur chaque tétraèdre de $\bar{\Omega}_m$, munis de la norme induite par $H^1(\Omega)$

Théorème 1 - Si le maillage $\bar{\Omega}_m$ vérifie les hypothèses

1) $\lim_{m\to\infty} \delta_m = 0$, δ_m est le diamètre maximal des éléments du maillage

2) $\forall m$, $\theta_m \geqslant \theta_0 > 0$, θ_m est l'angle minimal des dièdres composant les faces du maillage

alors $\bigcup_{m=1}^{\infty} H_m^1(\Omega)$ est dense dans $H^1(\Omega)$

Théorème 2 - Si le maillage Γ_m vérifie $\begin{cases} 1) \lim \delta_m = 0 \\ 2) \ \forall m \ \theta_m \geqslant \theta_0 > 0 \end{cases}$

alors $\bigcup_{m=1}^{\infty} H^{-1/2}(\Gamma)$ est dense dans $H^{-1/2}(\Gamma)$

Théorème 3 - Si les maillages $\bar{\Omega}_m$ et Γ_m vérifient les hypothèses des théorèmes 1, 2

alors $\bigcup_{m=j}^{\infty} [H_m^1(\Omega)]^3$ est dense dans $[H^1(\Omega)]^3$

$\bigcup_{m=1}^{\infty} [H_m^1(\Omega)]^2/_{P_0} \times H_m^1(\Omega)$ est dense dans $[H^1(\Omega)]^2/_{P_0} \times H^1(\Omega)$ et $\bigcup_{m=1}^{\infty} [H^{-1/2}(\Gamma)]^3$

Théorème 4 - $\bigcup_{m=1}^{\infty} H_{+m}^{-1/2}(\Gamma)$ est dense dans $H_{+m}^{-1/2}(\Gamma)$

Nous pouvons maintenant vérifier les hypothèses H8

3°- 279 - Vérification de H9

Il faut définir A_m et L_m , c'est-à-dire l'énergie potentielle pour les déplacements et contraintes de K_m . On prend $A_m = A$ et $L_m = L$

$$A_m(w_m, w'_m) = A(w_m, w'_m) \qquad \text{ou} \qquad L_m(w_m) = L(w_m)$$

soit maintenant $w_m \in K_m$ tendant faiblement vers w , on a:

$$\left| A_m(w_m, r_m w') - A(w,w') \right| \leqslant \left| A(w_m - w, w') \right| + \left| A(w_m, r w' - w') \right|$$

on a : $\lim_{m \to \infty} A(w_m - w, w') = 0$, car $w_m - w$ tend faiblement vers 0

et $\lim_{m \to \infty} A(w_m, r_m w' - w') = 0$ car w_m est borné et $r_m w' - w'$ tend fortement vers 0

on a donc: $\lim_{m \to \infty} A_m(w_m, r_m w') = A(w,w')$ et $\lim_{m \to \infty} A_m(r_m w', w_m) = A(w', w)$

soit $\left| A_m(r_m w', r_m w') - A(w', w') \right| \leqslant A(r_m w', r_m w' - w') \right| + \left| A(r_m w' - w', w') \right|$

les deux derniers termes tendent cers 0 car $r_m w'$ est borné et $(r_m w' - w)$ tend fortement vers 0.

on a donc : $\lim_{m \to \infty} A_m(r_m w', r_m w') = A(w', w')$

on a aussi : $\lim_{m \to 0} L_m(w_m) = \lim_{m \to \infty} L(w_m) = L(w)$

3° -2710 : <u>vérification de HA1, HA2, HA3, HA4</u>

HA1) résulte de la definition de L_m et de H5

HA2) est identique à celle de H2

HA3) résulte de H7 et de la définition de A_m

HA4) résulte de H4 et de définition de L_m

3° -28 : <u>Exemples numériques</u>

Pour limiter la dimension des systèmes linéaires à resoudre et utiliser au mieux la capacité de l'ordinateur dont on dispose une symétrie de revolution. Le solide (Ω) est une dalle cylindrique circulaire de hauteur h et de rayon R. Le sol est un semi-espace homogène.

Dans ces conditions $\Phi_{33}(r) = \frac{(1-\nu')}{2\pi\mu'} \times \frac{1}{r}$

ν' et μ' sont les coefficients de Poison et Lamé du sol.

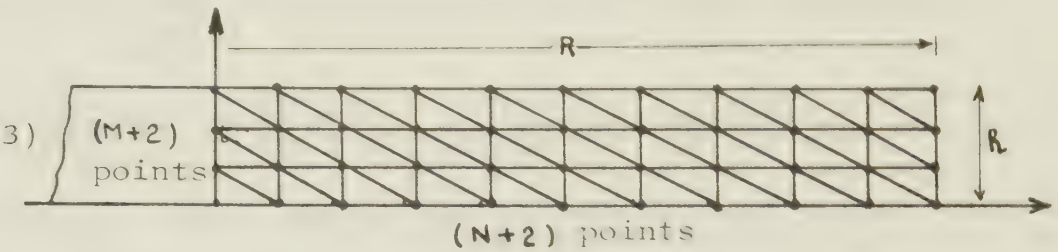
Les conditions à l'interface de la dalle et du sol sont :

(54)
- contrainte $\vec{v}$ verticale ($v_1 = v_2 = 0$)
- continuité des déplacements verticaux $u_3 = \Phi_{33} * v_3$
- ou décollement $u_3 - \Phi_{33} * v_3 \geqslant 0$ et $(u_3 - \Phi_{33} * v_3) v_3 = 0$

Les forces imposées sont la gravité $\phi(0,0,\beta_3) = (0,0,-2{,}4 \times 10^4)$ et diverses pressions appliquées sur la surface de la dalle.

Pour définir le maillage $\overline{\Omega}_m$, nous divisons le rayon R en $(N+1)$ segments de longueur $R/(N+1)$ la hauteur h en $(M+1)$ segments de hauteur $h/M+1$. A l'aide de ces deux subdivisions nous définissons le maillage $\overline{\Omega}_m$ formé de triangles comme indiqué sur le schéma (13). Le maillage Γ_m est formé de segments de longueur

(schéma 13)



$R/(N+1)$ ou $h/M+1$ suivant que l'on est soit sur une des faces de la dalle, soit sur le pourtour latéral. Le déplacement vertical est bien dans chaque triangle une fonction affine de r et z mais le déplacement radial est égal sur chaque triangle: $\sqrt{r}(ar+bz+c)$. La contrainte verticale v_m est telle que $r\,v_m$ soit une fonction affine continue de r sur toute la partie de (Γ) où le contact est possible : $r\,v_m = a\,r+b$ sur chacun des intervalles de longueur $R(N+1)$. La dimension de $W_m = U_m \times V_m$ est alors $(M+2)(2N+3)+(N+1)$

3° - 281 : <u>la dalle est partout collée sur le sol</u>

Le problème approché est $\operatorname{Inf}\{J(u,v) \mid (u,v) \in K_m\}$

Il peut s'écrire plus simplement $\operatorname{Inf}\{x^T.Ax - 2f^T x \mid C.X = 0\}$

Où X est le vecteur fermé des composants de (u,v) dans une base de W_m. A est une matrice définie non négative $(x^T A X \geqslant 0)$

$$x^T Ax = \frac{1}{2}\{a(u_m,u_m) + \langle \Phi * v_m , v_m \rangle$$

$$-2f^T x = \frac{1}{2}\{-2(f,u_m) - 2\langle g, u_m\rangle\}$$

la condition $CX=0$ exprime que $\langle u_3 - \Phi_{33} * v_3 , \varphi \rangle = 0 \;,\; \forall \varphi \in V_m$

En utilisant cette dernière relation, on peut diminuer la dimension de W_m en remplaçant à la $g=0$, u_3 par $\Phi_{33} * v_3$

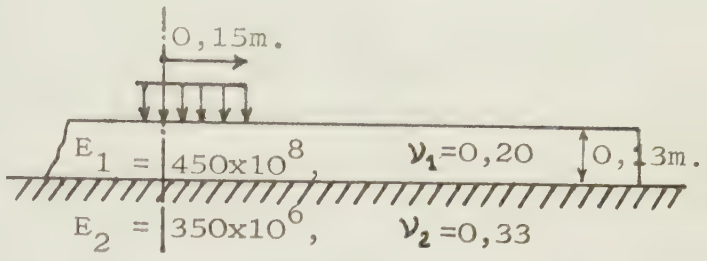
on a alors $m = (M+1)(2N+3)+(2N+2)$

le problème approché est : $\operatorname{Inf}\{x^T.Bx - 2f^T.x\}$

soit $Bx=f$. Cette réalisation numérique est réalisée à l'aide d'un ordinateur.

On représente ci-dessous les données principales du programme pour une dalle moyenne

```
M = 12
N = 26
R = 1.50000
H =.130000
ELASDAL = 4.500000 E 10
POISDAL =  .200000
ELASSOL = 3.500001 E 08
POISSOL = . 330000
F  =  10000.0
R CHARGE = .150000
```



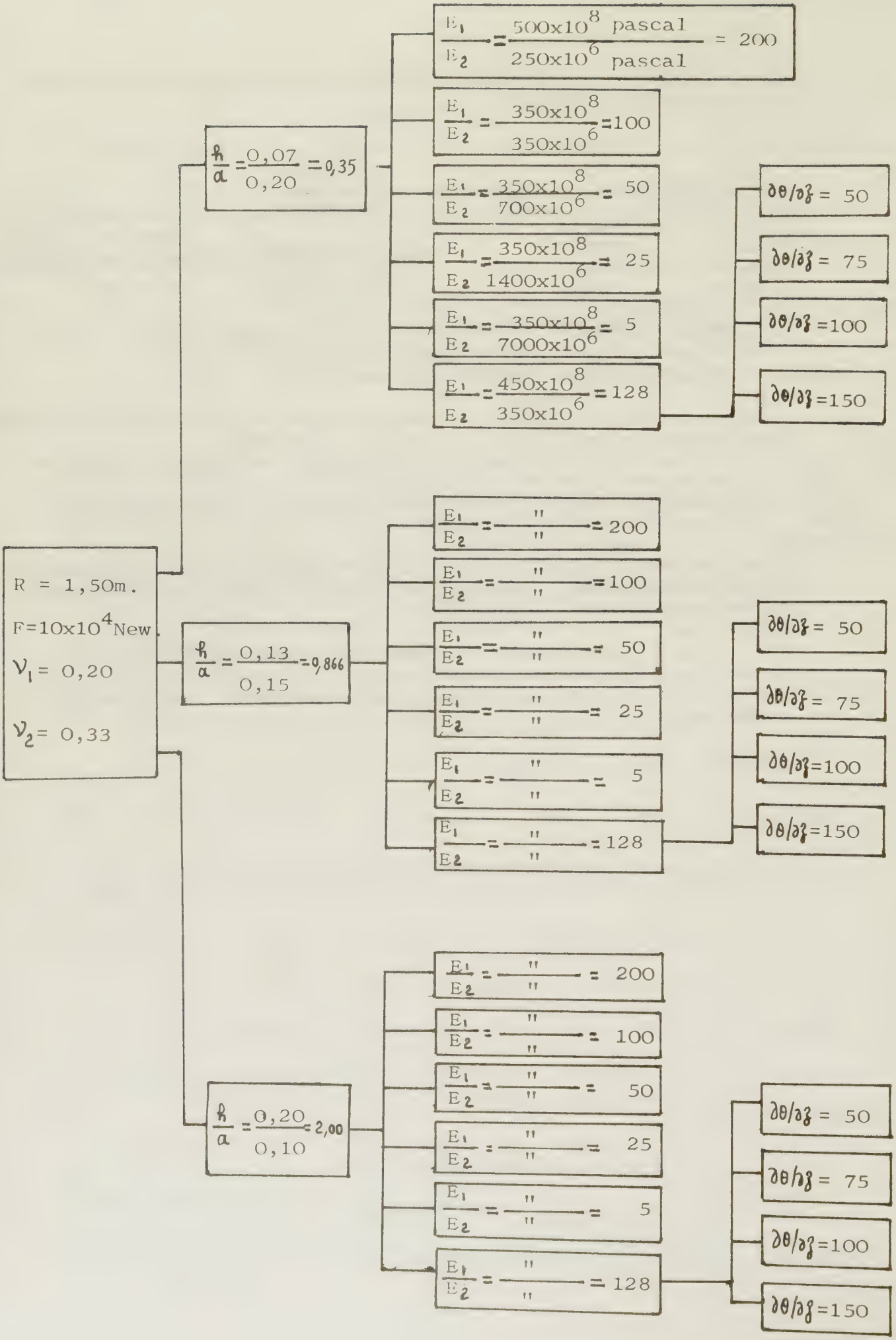
(schéma - 14)

Les résultats du programme sont :

- Déplacements verticaux et horizontaux du sol (pour N + 2 point
- contraintes sur le sol (pour N + 2 points)
- Déplacements verticaux et horizontaux de la dalle (pour N + 2 points et M + 2 couches)
- contraintes verticales et radiales de la dalle (pour N + 2 points et M + 2 couches)

Les résultats indiqués s'effectuent dans le cas du chargement et du déchargement. De plus nous pouvons imposer l'influence de la température au programme.

Après avoir étudié les influences des données du programme sur les variations des résultats des sorties, on a choisi les valeurs suivantes pour interpréter les résultats théoriques :


R = 1,50m.
F=10x10^4New.
ν1 = 0,20
ν2 = 0,33
h/a = 0,07/0,20 = 0,35
h/a = 0,13/0,15 = 0,866
h/a = 0,20/0,10 = 2,00
E1/E2 = 500x10^8 pascal / 250x10^6 pascal = 200
E1/E2 = 350x10^8 / 350x10^6 = 100
E1/E2 = 350x10^8 / 700x10^6 = 50
E1/E2 = 350x10^8 / 1400x10^6 = 25
E1/E2 = 350x10^8 / 7000x10^6 = 5
E1/E2 = 450x10^8 / 350x10^6 = 128
E1/E2 = " / " = 200
E1/E2 = " / " = 100
E1/E2 = " / " = 50
E1/E2 = " / " = 25
E1/E2 = " / " = 5
E1/E2 = " / " = 128
∂θ/∂z = 50
∂θ/∂z = 75
∂θ/∂z = 100
∂θ/∂z = 150

3° - 3 - RESULTATS THEORIQUES CALCULES

3° - 31 - Dalle de dimensions infinies (modèle de BURMISTER)

Les tableaux et les figures (1), (2) et (3) donnent respectivement la variation de $(w_1/p.a \times E_1)$ et $(\varepsilon_r/p \times 10^6)$ et $(\varepsilon_z/p \times 10^6)$ en fonction de h/a pour différentes valeurs de $K_o = E_1/E_2$ (w_1 est le déplacement vertical de la surface de la dalle au centre du chargement).

On constate que les valeurs maximales s'obtiennent pour les petites valeurs de h/a et les valeurs élevées de K_o . Nous avons porté les variations de ε_r et ε_t en fonction de n, données par le tableau et figure(4).

Comme nous le voyons, le maximum déformation radiale ou tangentielle à l'interface des dalles se trouve au centre de la dalle. Le tableau et la fig. (5) représentent la variation du σ_r/p à h/a donné . les valeurs σ_r/p augmentent au sens d'augmentation des $K_o = E_1/E_2$

3° - 32 - Dalle circulaire de dimensions finies (modèle de FREMOND)

3° - 321 - Les déplacements verticaux

Les tableaux et les figures (6), (7) et (8) représentent respectivement les variations de $(w_1/p.a)$, $(w/p.a)$, (w) en fonction de R/a

Les valeurs maximales s'obtiennent pour les petites valeurs de R/a et les valeurs élevées de $K_o = E_1/E_2$. De plus, la figure (8) montre que la variation de W par rapport à (a) est faible. Le tableau et la figure (9) nous donnent les valeurs des déplacements verticaux pour différentes valeurs de n

3° - 322 - Les déplacements horizontaux

Les déplacements horizontaux des surfaces et les interfaces des trois dalles différentes sont regroupés aux tableaux et figures (10), (11), et (12).

3° - 323 - Les contraintes

Nous pourrons déterminer les valeurs de (σ_r/p) , (σ_r), (σ_z) par l'intermédiaire des figures (13), (14), (18) en connaissant la valeur de h/a

Les tableaux et les figures (15), (16), (17) donnent la répartition de (σ_r) le long d'un rayon des surfaces et des interfaces des dalles d'épaisseurs différentes. De même, les tableaux et les figures (19), (20), (21) montrent les variations du (σ_z) pour les dalles indiquées aux mêmes figures.

3°- 324 Influence du gradient de la température

Aux tableaux et figures (22) et (27), nous avons porté respectivement les valeurs de $(w_1 / \psi.a)$, (σ_r/ψ) en fonction de h/a pour les différents gradients des températures. Cette fois-ci les valeurs appartiennent à chacun des cas de chargements et de déchargements. Pour trouver les valeurs élastiques nous devons faire une soustraction.

Les tableaux et les figures (23), (28), (29) nous prouvent que les variations des déplacements verticaux et les contraintes radiales et verticales sont linéaires par rapport aux gradients de température, les valeurs de h/a et ψ étant fixées.

CHAPITRE II

ETUDE DES PHENOMENES THERMIQUES DANS LES CHAUSSEES RIGIDES

1/- GENERALITES

- Les dalles se dilatent et se contractent en fonction de la variation de leur température moyenne.

- Par suite des variations diurnes de températures il règne, à tout instant, dans les dalles, un gradient vertical de température qui n'est pas constant. Cette répartition de la température en fonction de la profondeur crée un état de contraintes internes dans les dalles, indépendant du poids ou des charges extérieures. Elle crée également des déformations dans les dalles reliées au poids de la dalle.

2/- DISTRIBUTION NATURELLE DE LA TEMPERATURE *

Les relevés de température effectués à la surface des dalles et aussi dans le béton à différentes profondeurs, confirment les hypothèses suivantes :

- la température superficielle des dalles est une fonction sinosaïdale du temps
- la répartition des températures dans le béton correspond à la résolution de l'équation de la chaleur (en considérant les conditions limites et initiales).

Si la température de l'air était constante, la température dans les dalles de béton serait uniforme ou varierait linéairement avec la profondeur. Ce sont les variations de la température superficielle des dalles et la faible conductibilité thermique du béton, qui entrainent une distribution non linéaire des températures dans les dalles.

Si l'on admet que cette distribution de température satisfait à l'équation de Fourier $\partial\theta/\partial t = \lambda/c.\omega \cdot \Delta\theta$, il suffit de connaitre les variations de la température superficielle pour en déduire la fonction $\theta(z)$.

En moyenne, la température est sensiblement une fonction périodique d'une période de 24 heures, de valeur moyenne T_m qui est, elle-même, fonction périodique d'une période de 365 jours. Si l'on assimile ces fonctions à des fonctions sinusoïdales, la température en surface (pour $z = h$) peut s'écrire :

$$T = T_o + A \sin \frac{2\pi}{T_a} t + B \sin \frac{2\pi}{T_j} t \qquad (55)$$

* la référence (7)

T_o = Température moyenne annuelle
A = demi-amplitude annuelle de la température moyenne journalière
B = demi-amplitude de la température journalière
T = durée d'une année
T_j = durée d'un jour.

Comme nous l'avons indiqué, cette répartition de la température dans les dalles peut être étudiée à l'aide de la théorie de Fourier sur la propagation de la chaleur dans les solides. On sait que la loi de Fourier indique que le flux de la chaleur qui passe par unité de temps à travers l'unité de surface, est proportionnel, d'une part, au gradient des températures, d'autre part, à un coefficient de conductibilité thermique. On en déduit aisément qu'en régime variable, la propagation de la chaleur dans un solide satisfaisant à l'équation

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{c.\omega}\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}\right) \qquad (56)$$

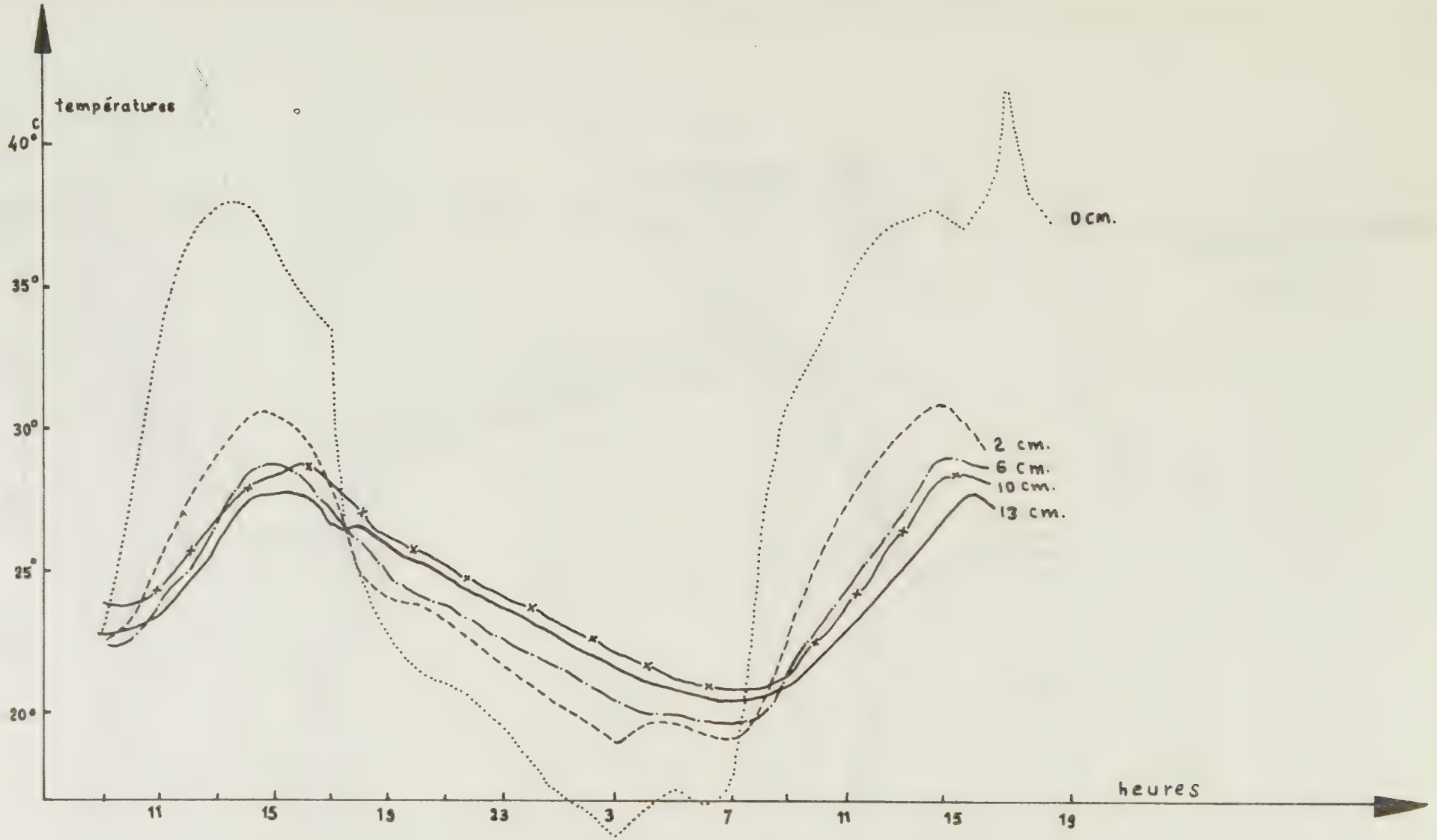
θ : la température d'un point t : le temps
λ : le coefficient de conductibilité du solide
c : Capacité calorifique ω : poids spécifique

Dans le cas d'une dalle posée sur le sol, seule la profondeur z intervient car on admet que le sol est formé de couches horizontales homogènes. Plusieurs auteurs ont étudié le cas où chaque couche est différente de la précédente. Mais en fait, le coefficient $\lambda/c.\omega$ est assez peu différent de celui du béton

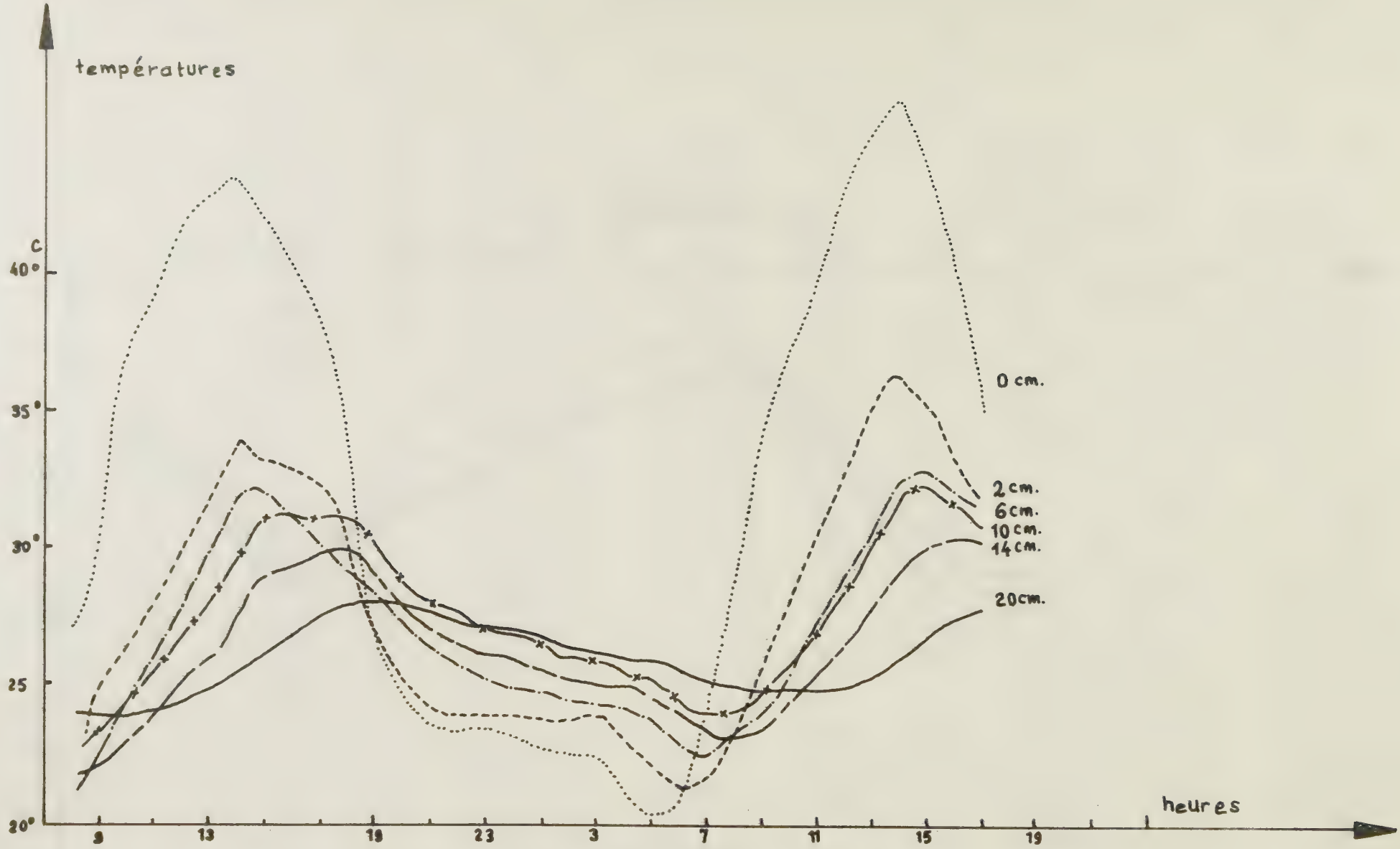
Dans les chaussées, ces coefficients sont toujours mal connus. On peut alors, en pratique, au point de vue de la transmission de la chaleur, supposer en première approximation que la dalle est infinie en profondeur. La solution de Fourier pour le support infini donne l'expression suivante de la température T_z en tout point z intérieur à la dalle

$$T_z = T_o + A\, e^{\beta(z-h)} \cdot \sin\left[\frac{2\pi t}{T_a} + \beta(z-h)\right] + B\, e^{\beta(z-h)} \sin\left[\frac{2\pi t}{T_j} + \beta(z-h)\right] \qquad (57)$$

et si l'on appelle T_m la température naturelle initiale sans contrainte thermique, la fonction cherchée θ de z sera donnée par $\theta = T_z - T_m$


températures
C
40°
35°
30°
25°
20°
0 cm.
2 cm.
6 cm.
10 cm.
13 cm.
heures
11
15
19
23
3
7
11
15
19

SCHEMA-15


températures
C
40°
35°
30°
25
20°
0 cm.
2 cm.
6 cm.
10 cm.
14 cm.
20 cm.
heures
9
13
19
23
3
7
11
15
19

SCHEMA - 16

Etant donné que la part d'arbitraire reste importante, puisque les fonctions T_m et B sont inconnues et qu'on ne tient pas compte des variations d'ensoleillement dûes aux circonstances atmosphériques, on peut simplifier en ne considérant que la température moyenne du jour considéré est égale à la température d'état initial,

soit $$T_m = T_o + A\, e^{\beta'(z-h)} \sin\left[\frac{2\pi t}{T_a} + \beta'(z-h)\right]$$

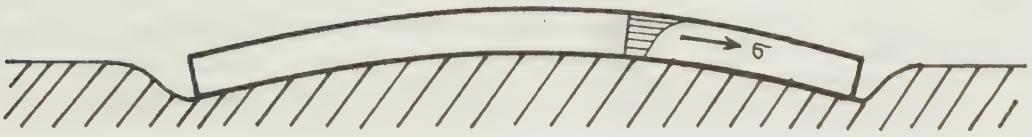
d'où $$\boxed{\theta = B\, e^{\beta(z-h)} \cdot \sin\left[\frac{2\pi t}{T_j} + \beta(z-h)\right]} \qquad (58)$$

dans cette formule β est égale : $\beta = \sqrt{\dfrac{\pi \cdot C \cdot \omega}{T_j \cdot \lambda}}$

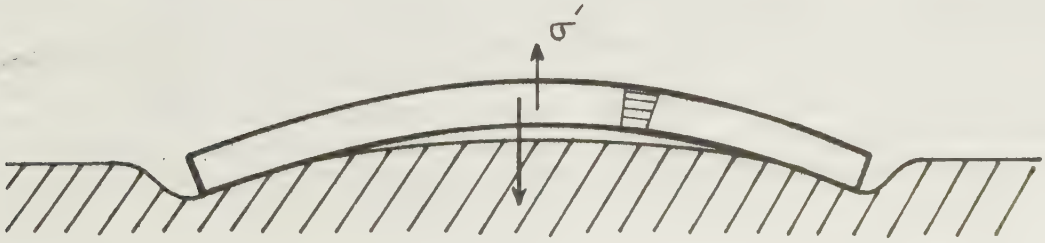
3°/- EFFET D'UNE DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE

La température du béton n'étant uniforme, ni dans le temps, ni dans l'espace, il en résulte l'apparition de déformations et de contraintes qu'on peut classer dans trois catégories distinctes :

- Les contraintes thermiques indépendantes du poids
- une courbure et une flexion des dalles résultant de leur poids et des modifications de la répartition des réactions verticales de la fondation.
- des contraintes dûes à des variations brusques de la température superficielle des dalles, c'est-à-dire des chocs thermiques



(schéma - 17)

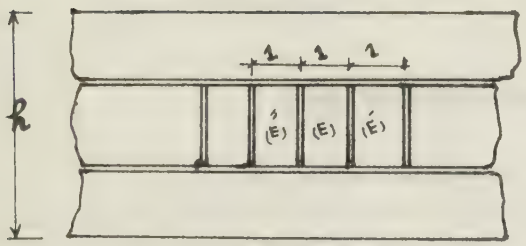


(schéma - 18)

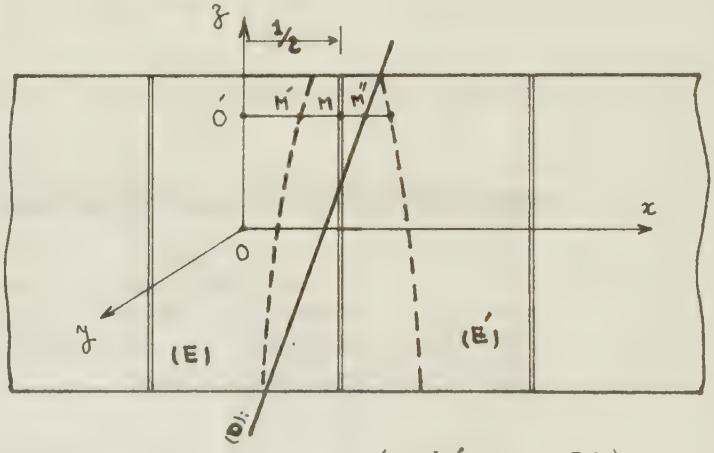
3°-1 - CONTRAINTES THERMIQUES

Les contraintes thermiques dans le béton sont dûes à un répartition irrégulière de la température. On sait que, lorsque la température $\theta(x,y,z)$ en chaque point d'un corps élastique est une fonction linéaire, il n'y a pas de contraintes dans le corps considéré. Si, au contraire, $\theta(x,y,z)$ est une fonction quelconque ou irrégulière, il naît des contraintes thermiques qui sont indépendantes du poids de la dalle. Nous allons calculer les valeurs de ces contraintes.

Considérons une tranche mince découpée dans la dalle suivant l'axe des x et considérons les éléments successifs de longueur unité constituant cette tranche mince, tels que (E), (E')



(schéma - 19)



(schéma - 20)

Si ces éléments étaient indépendants, ils se déformeraient identiquement sous l'effet de l'augmentation (z) de la température, leurs sections droites épousant une courbe (c) définie par exemple pour l'élément (E) par :

$$x = 1/2\ (1 + \alpha\theta)$$

Mais ces éléments ne sont pas indépendants, les courbes (c) restent communes à deux éléments successifs, d'où, en général, l'apparition des contraintes. Nous avons vu que ces éléments restant soudés les uns aux autres, chaque frontière devrait rester commune à deux éléments successifs, donc épouser une courbe intermédiaire entre les courbes symétriques (c) et (c')

Si les éléments (E) et (E') voisins sont soumis à des influences identiques, cette courbe intermédiaire est une droite. Tel sera le cas en toute section d'une tranche mince infinie, ou de la section centrale d'une tranche mince de longueur finie. Pour une section quelconque d'une tranche mince de longueur finie, la courbe intermédiaire s'écartera d'autant plus de la droite qu'on sera plus près d'une extrémité.

On suppose que l'équation de cette courbe intermédiaire est :

$$(D) : \qquad x = b\zeta - a$$

Le point initial M de (E) sur la frontière, commun à (E) et (E')déplacé par dilatation libre en M' tel que: $o'M' = \frac{1}{2}(1+\alpha\theta)$

et on a ; le déplacement forcé $M'M'' = oM'' - oM' = (b\zeta - a) - \frac{1}{2}(1+\alpha\theta)$

par suite, une contrainte $$m_x = \frac{(b\zeta - a) - \frac{1}{2}(1+\alpha\theta)}{1/2} \cdot E \qquad (59)$$

L'élément (E) n'étant soumis, en dehors de ces contraintes de liai-sons à aucune force extérieure. Nous allons exprimer que ces contraintes forment un système nul, c'est-à-dire que la résultante et que le moment résultant est nul. Ces deux conditions déterminent α et b

$$* \ \Sigma F = 0 \longrightarrow \int_{-h/2}^{+h/2} m_x \cdot d\zeta = 0 \ , \int_{-h/2}^{+h/2} \frac{(b\zeta - a) - \frac{1}{2}(1+\alpha\theta)}{1/2} \cdot E \cdot d\zeta = 0$$

$$a = -\frac{\alpha}{2h} \int_{-h/2}^{+h/2} \theta \cdot d\zeta - \frac{1}{2} \qquad (60)$$

$$* \ \Sigma \mathcal{M} = 0 \longrightarrow \int_{-h/2}^{+h/2} m_x \cdot \zeta \cdot d\zeta = 0 \ , \int_{-h/2}^{+h/2} \frac{(b\zeta - a) - \frac{1}{2}(1+\alpha\theta)}{1/2} E \cdot \zeta d\zeta = 0$$

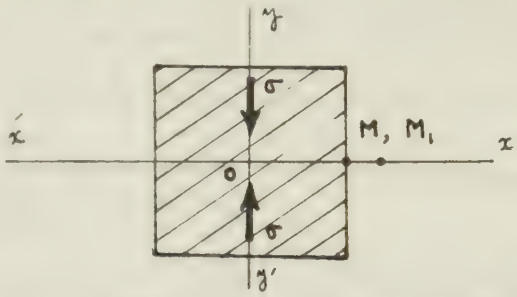
$$b = \frac{6\alpha}{h^3} \int_{-h/2}^{+h/2} \theta \cdot \zeta \cdot d\zeta \qquad (61)$$

en portant ces valeurs de α , b dans l'équation (59) on obtient :

$$M_x = E \cdot \alpha \left(-\theta + \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{+h/2} \theta \cdot d\zeta + \frac{12\zeta}{h^3} \int_{-h/2}^{+h/2} \theta \cdot \zeta \cdot d\zeta \right) \qquad (62)$$

Il s'agit de passer du cas de la tranche mince au cas général. C'est à dire de tenir compte des dilatations dans le sens transversal. Toute déformation, et toute contrainte, dans le sens longitudinal $x\,x'$ considéré se renvoie dans le sens transversal par l'effet de Poisson.

Nous avons vu que le prisme élémentaire (E) de la dalle se déformait de telle sorte que sa frontière déformée dans les sens $x\,x'$ soit un plan de trace D. Cette trace D ne change pas sous l'élément (E)dilaté librement. Soit σ la contrainte finale, compte tenu des dilatations transversales, cette contrainte est la même dans le sens $x\,x'$ et $y\,y'$



(schéma - 21)

Appliquons à l'élément librement dilaté la contrainte σ dans le sens transversal. On a:

$$\Delta x = -\nu \frac{\sigma}{E} \times 1/2 \qquad \text{et} \qquad OM_1 = 1/2\,(1+\alpha\theta) - \nu \frac{\sigma}{E} \cdot 1/2$$

par raison de symétrie, comme nous l'avons développé précédemment la frontière définitive de (E) ne peut être qu'une droite D: $x = bz - a$ Donc la position M'' final sur D dans le sens $x\,x'$ sera imposée par le déplacement forcé suivant :

$$(bz - a) - [1/2\,(1+\alpha\theta) - \nu \cdot \sigma/E \cdot 1/2]$$

et la contrainte est:

$$\{bz - a - [1/2\,(1+\alpha\theta) - \nu \cdot \sigma/E \cdot 1/2]\} \cdot E \,/\, 1/2$$

et cette contrainte doit être égale à σ , puisque la contrainte est la même que dans le sens $y\,y'$:

$$\sigma = E/1-\nu \cdot [bz - a - 1/2\,(1+\alpha\theta)] \,/\, 1/2$$

il reste à remplacer les valeurs a et b, et on obtient finalement

$$(63) \qquad \sigma = E\alpha/1-\nu \left[-\theta + 1/h \int_{-h/2}^{+h/2} \theta \cdot dz + 12z/h^3 \int_{-h/2}^{+h/2} \theta \cdot z \cdot dz\right]$$

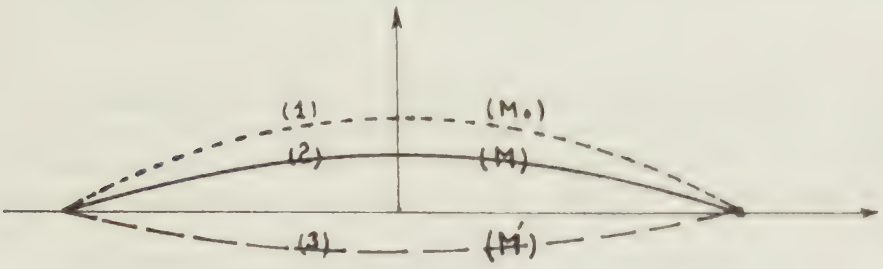
3° - 2 CONTRAINTES DUES AU POIDS PROPRE DE LA DALLE

Les contraintes précédemment calculées ne sont dûes qu'au seul gradient de température. On conçoit alors que la dalle, courbée par l'effet de ce gradient, tende, sous son propre poids, à reprendre une forme plane et qu'il en résulte des contraintes supplémentaires agissant malheureusement dans le même sens que les contraintes purement thermiques. Les contraintes dont l'expression est donnée par (63) ne dépendent pas du poids de la dalle.

Elles existent dans une dalle non pesante. Mais la dalle de béton, déformée par le moment fictif:

$$M_o = \frac{E\alpha}{1-\nu} \int \theta(z) \cdot z \cdot dz \qquad (64)$$

subit une flexion dûe à son poids propre, flexion qui engendre des contraintes se superposant à celles précédemment étudiées.



(schéma - 22)

- Nous supposons que la dalle non pesante, initialement déformée en calotte sphérique (Hy. de WESTUGARD) par un moment M_o est appuyée sur la fondation élastique.

- Par des pressions verticales $\uparrow r$, qui représentent son poids, on obtient une certaine valeur M du moment de flexion au centre

$$M = f(M_o, r, \ell, R)$$

où ℓ est le module de réaction et R le rayon de la dalle.

- Maintenant, supposons que la dalle ayant, son poids et sans intervention du moment M_o soit déformée initialement. Dans ce cas, la valeur du moment M' est donnée par :

$$M' = M - M_o$$

On peut voir assez facilement le moment de flexion M qui résulte du poids propre sur une dalle de dimension finie en considérant l'Hypothèse de Westergard.

3° - 3 - LES CONTRAINTES DUES AUX CHOCS THERMIQUES *

Tout d'abord, il n'existe pas de choc thermique vrai, dû à des seuls phénomènes météorologiques. D'autre part, les variations de températures qu'on peut observer sont toujours faibles.

* la référence (7)

Monsieur JEUFROY montre que si θ_o est la variation brusque de température à la surface de la dalle, les contraintes qui en résultent sont :

$$\begin{cases} \sigma = -\frac{1}{2}\,\frac{E\alpha\theta_o}{1-\nu} & \text{sur la face supérieure} \\ \sigma = 0 & \text{sur la face inférieure} \end{cases}$$

Sur le plan pratique, on peut donc dire, en première approximation qu'une variation brusque de la température superficielle des dalles n'entraine aucune contrainte à la face inférieure et fait apparaitre à la face supérieure des contraintes égales à la moitié de celles qui résulteraient d'un morceau de béton à la dilatation. Donc, on peut dire que les variations accidentelles brusques de la température superficielle des dalles n'entrainent pas l'apparition de contraintes dangereuses.

C H A P I T R E III

ETUDE EXPERIMENTALE

Le but de cette étude expérimentale est de vérifier le bien-fondé des modèles mathématiques représentant une dalle de béton.

Pour cela, on a vérifié le comportement sous des charges verticales statiques de dalles circulaires soumises ou non à des gradients de température du point de vue des déplacements verticaux et des allongements à certains niveaux de la dalle.

On a utilisé divers appareillages.

- un portique de mise en charge, de déflectomètres optiques, un enregistreur potentiométrique de température et un pont d'extensométrie.

On décrira les divers appareils employés et le dispositif d'expérimentation.

PREMIERE PARTIE

1°/- DISPOSITIF D'EXPERIMENTATION

Les schémas (23) et (24) représentent les positions schématiques des manipulations sur les dalles circulaires. Le dispositif de manipulation comprend deux parties :

- le premier dispositif ne contient pas de chauffage (c'est-à-dire qu'il n'y a pratiquement pas de gradient thermique entre la surface et l'interface des dalles. Les déplacements, déformations, contraintes sont dûs aux charges statiques.

- Dans le deuxième dispositif, la dalle est chauffée pour créer le gradient thermique entre la surface et l'interface. Dans ce cas-là, outre la charge statique, la dalle est soumise aux phénomènes thermiques. Le dispositif d'expérimentation est composé des cinq chaînes suivantes :

- Une chaine d'application de la charge statique
- Une chaine de chauffage
- une chaine de mesure des déplacements
- Une chaine de mesure des déformations
- Une chaine d'enregistrement de la température.

Nous allons décrire les caractéristiques de chacune de ces chaînes.

1°- 1 - Chaîne d'application de la charge statique

L'étude des dalles exige un appareil qui applique une charge statique forte sur les dalles. Cela est réalisé avec le portique de mise en charge du C.E.R. de ROUEN qui permet d'obtenir une pression verticale sous une plaque de rayon donné à la surface des dalles. La mise en place de l'appareil se fait par l'intermédiaire des deux emplacements. Le rayon du chargement varie avec les plaques des différents diamètres.

1° - 2 - Chaîne du chauffage

Le chauffage des dalles se réalise avec des tubes infrarouges. Ceux-ci sont posés sur un cadre de ferraille portable. La mise en place de ces tubes infrarouges s'effectue automatiquement sur la dalle au moyen du cadre. Le chauffage produit partout un gradient assez fort entre la température de la surface et l'interface des dalles.

1° - 3 - Chaîne de mesure de déplacement

La chaîne de mesure de déplacement telle qu'elle est représentée sur le schéma général est composée essentiellement des sources lumineuses des déflectométries optiques. On mesure avec l'un des déflectomètres (qui est dirigé vers l'une des sources) le déplacement de celle-ci, c'est-à-dire le déplacement d'un point de la dalle, où la source s'est trouvée sur celui-ci.

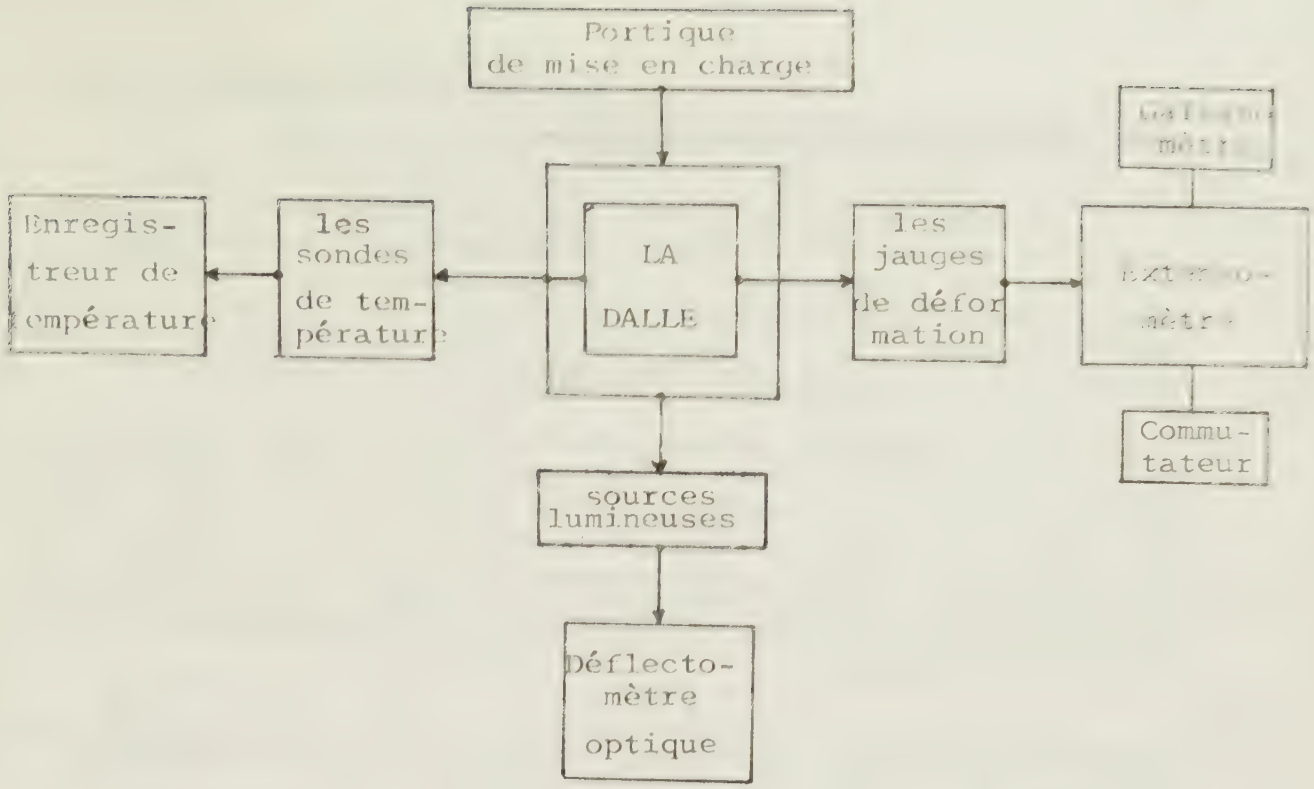
Les relevés des déflectomètres, après chacun des chargements et déchargements, nous permet de mesurer le déplacement élastique d'un point arbitraire sur la dalle.

1° - 4 - Chaîne de mesure de déformation

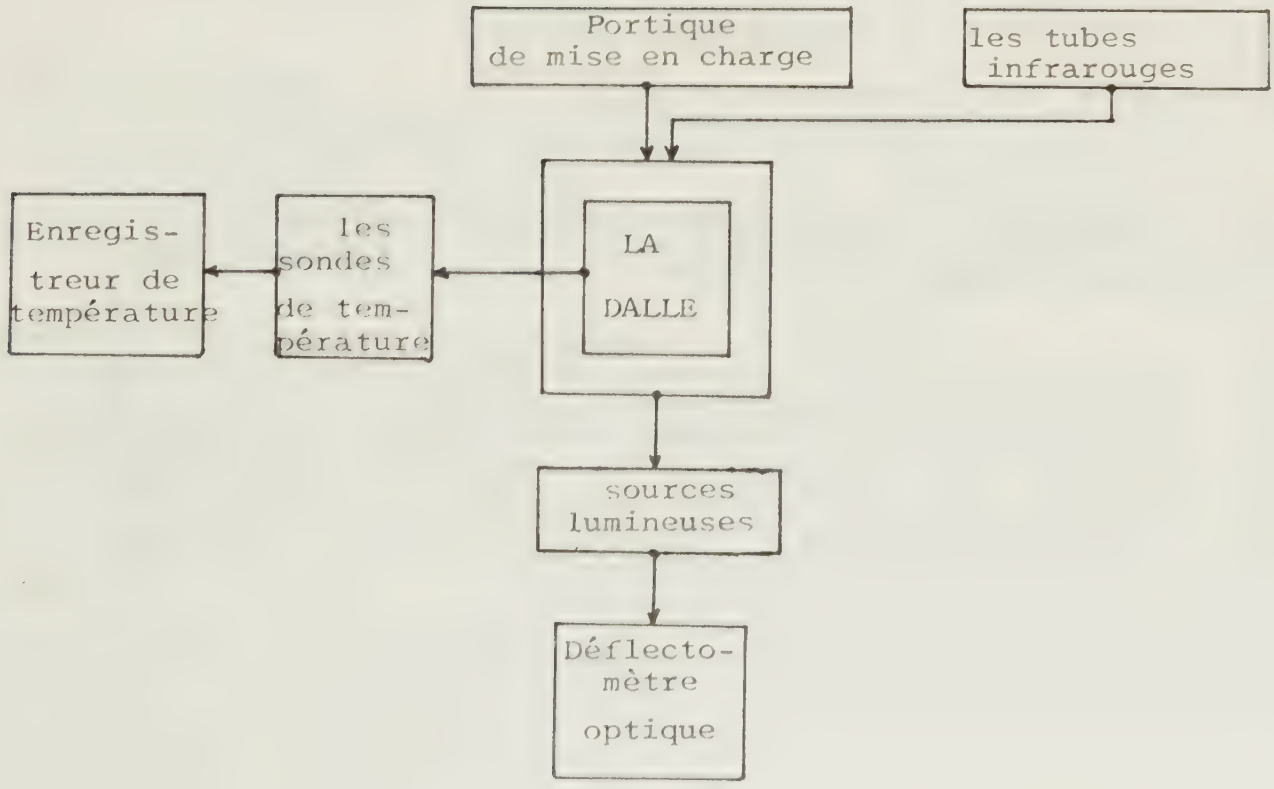
La chaîne de mesure de déformation comprend les jauges à fils résistants, le pont d'extensométrie statique. Les allongements des jauges créent une variation $\Delta R/R$ dans le pont. Lamesure de $\Delta R/R$ créée dans le pont, permettra de mesurer les allongements de certains points dans les dalles où se trouvent les jauges à fils existants.

1° - 5 - Chaîne d'enregistrement de la température

Les températures des dalles sont relevées par des sondes de températures qui sont posées aux endroits prévus de ces dalles. La tension produite par les sondes est introduite aux bornes d'un enregistreur potentiométrique, étalonné en températures.



(schéma - 23)



(schéma - 24)

2°/- CARACTERISTIQUES DES DALLES

Dans la plupart des essais de laboratoire, lorsque le matériau possède une certaine hétérogénéité, on a intérêt à utiliser des éprouvettes de grandes dimensions. Ceci améliore l'homogénéité macroscopique du matériau pratiquement utilisé. Les dimensions des dalles doivent être limitées afin de rapprocher les calculs des cas théoriques.

En général, d'une part, la dalle ne doit pas se trouver dans la zone d'influence des pieds solidaires du portique, ce qui limite le rayon maximum de la dalle. D'autre part, le rayon minimum doit permettre les gradients thermiques élevés. Les épaisseurs des dalles sont choisies de manière à avoir assez de concordance avec la réalité, par exemple, en considérant soit des chaussées minces, soit des chaussées moyennes ou des chaussées robustes.

Compte tenu de ces remarques, nous avons retenu pour leurs réalisations, quatre dalles circulaires aux Rayons R = 1,50 m des épaisseurs respectivement :
h = 0,13 m., 0,07 m., 0,13 m,, 0,20 m. aux Dalles (D-1) (D-2), (D-3), (D-4).

3°/- FABRICATION DES DALLES

La fabrication des dalles de béton s'est déroulée sur une bande d'essai. Pour avoir un glissement entre les dalles et les supports, on a interposé des feuilles de nylon. Des coffrages en fer circulaire, posés horizontalement sur le support, ont servi à couler les dalles.

Des sondes de températures et des jauges de déformations ont été mises en places. Les hauteurs et les distances de celles-ci ont été fixées à l'aide de fils tendus avant la coulée du béton. Ensuite, les dispositifs étant prêts, on a commencé à couler le béton. L'homogénéisation du béton à l'intérieur du coffrage a été effectuée à l'aide d'une machine à tuyau vibrant.

L'égalisation en surface a été obtenue par l'intermédiaire d'une règle vibrante. Des précautions particulières ont été prises afin d'obtenir un bon état de surface. Les opérations se sont déroulées simultanément pour chaque dalle. Des éprouvettes sylindriques et des prismes ont été réalisés en même temps pour l'étude des caractéristiques du matériau. L'arrosage du béton a duré environ une semaine afin d'avoir une bonne condition de prise.

4°/- MATERIAUX UTILISES

Les matériaux utilisés sont de deux sortes. La première a été utilisée en date du 2/2/71 pour la dalle (D-1), et la deuxième en date du 5/7/71 pour les dalles (D-2), (D-3), (D-4). Néanmoins, nous les expliquerons ensemble.

4° - 1 - CARACTERISTIQUES DES GRANULATS

Les caractéristiques des granulats utilisés sont portés dans le tableau suivant :

DESIGNATION	Granulo-métrie	Masse Volumique	PROVENANCE
Sable	0/5	2,626 t/m^3	Bardoville
Gravillons	5/125	2,959	Meilleraie
Gravier	10/20	2,986	Meilleraie

4° - 2 - ETUDE GRANULOMETRIQUE

4 - 21 - Composition pondérale

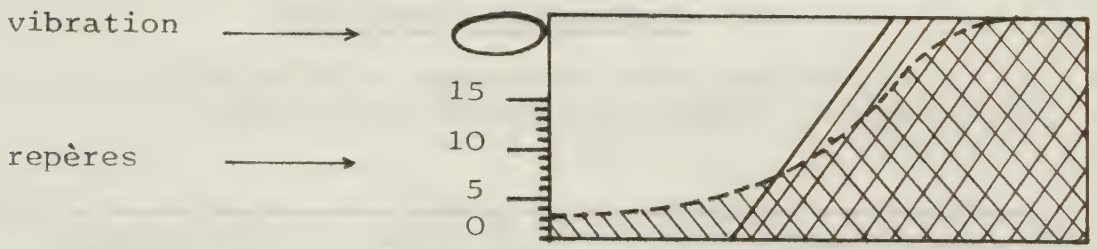
L'étude a été effectuée selon la méthode de FAURY et a donné la composition pondérale suivante :

CONSTITUANTS		COMPOSITION PONDERALE
Ciment C.P.A.L.	325	330 Kg/m^3
Gravillons	5/12,5	502
Gravier	10/20	962
Sable	0/5	655
Eau		170 litres $/m^3$

4 - 22 - Cette composition ne présentant pas la maniabilité requise, l'étude a été poursuivie à l'aide du maniabilimètre type L.C.P.C. Le tableau ci-après représente le dosage correspondant à la maniabilité optimale

CONSTITUANTS		COMPOSITION PONDERALE
Ciment C.P.A.L.	325	330 Kg/m^3
Gravillons	5/ 12,5	469
Gravier	10/20	902
Sable	0/5	736
Eau		170 litres /m^3

Le principe de la mesure de maniabilité consiste à noter le temps mis par le béton s'écoulant dans une cuve sous l'action d'une vibration déterminée pour atteindre différents repères de hauteur gravas sur la paroi intérieure de la cuve.



4° - 3 - RESISTANCES MECANIQUES DU BETON (essais en laboratoire)

4 - 31 - Essai de compression

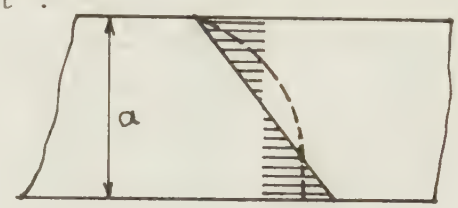
Avec ce dosage, il a été confectionné 35 cylindres de béton coulé le 2/2/71 et 30 cylindres de béton coulé le 5/7/1971. Le tableau suivant indique la résistance moyenne à la compression.

AGE du BETON	COMPRESSION MOYENNE EN BARS	
	Dalle (D1)	Dalles (D2),(D3),(D4)
7 jours	$\sigma'_7 = 315$	$\sigma'_7 = 225$
28 jours	$\sigma'_{28} = 436$	$\sigma'_{28} = 330$

4 - 32 - L'essai de traction par flexion *

Dans l'essai de traction par flexion, si la charge de rupture est **F** et a le côté de la base, la contrainte de rupture en traction par flexion est :

$$\sigma = 1{,}8\ F/a^2$$



Ceci suppose que la contrainte calculée par la formule d'élasticité $\sigma'' = Mv/I$ est effectuée d'un coefficient de sécurité 0,6. En effet

$$\sigma'' = Mv/I = 6M/a^3 = 3F/a^2 \quad \text{car} \quad M = F/2 \cdot a \longrightarrow \sigma = 1{,}8/3 \cdot \sigma''$$

L'essai de traction par flexion a été effectué sur 20 prismes du béton coulé le 2/2/71 et 20 prismes du béton coulé le 7/5/71. Les résultats moyens sont rassemblés sur le tableau suivant:

AGE DU BETON	TRACTION MOYENNE EN BARS	
	Coulée du 2/2/71	Coulée du 5/7/71
7 Jours	$\sigma_7 = 23{,}2$	$\sigma_7 = 25$
28 jours	$\sigma_{28} = 30{,}5$	$\sigma_{28} = 27{,}8$

4° - 4 - DETERMINATION DU MODELE D'YOUNG et du COEFFICIENT de POISSON

Pour des raisons pratiques, les mesures de **E** et ν ont été faites en compression sur des éprouvettes d'élancement, deux de diamètre Ø 160 mm et de hauteur 320 mm, montées sur une presse mécanique. L'écrasement se fait à une vitesse constante 1,27 mm. par minute. La déformation longitudinale est donnée par la moyenne des valeurs de mesures de déformation des trois génératrices. La déformation transversale est mesurée à l'aide des jauges collées sur le périmètre de la section centrale. Nous enregistrons à l'aide de deux enregistreurs X Y , lors de la montée en charge les courbes $(\sigma, \varepsilon_\ell)$ et $(\varepsilon_v, \varepsilon_\ell)$

* référence (9)

Les pentes, à l'origine, nous donnent successivement les valeurs **E** et ν . Les figures (32) à (40) représentant les diagrammes de contrainte - déformation pour les éprouvettes des dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4). Nous avons regroupé les valeurs de(**E**)et (ν) dans le tableau suivant :

La dalle	E_i (pascal)	E_m (pascal)	ν_i	ν_m
(D-1)	E_1=455 x 10^8 E_2= 490 E_3= 490 E_4= 495	E = 500x10^8	ν_1 = 0,19 ν_2 = 0,19 ν_3 = 0,20 ν_4 = 0,21	ν = 0,20
(D-2)	E_1 = 485 E_2 = 480 E_3 = 430 E_4 = 450 E_5 = 440	E = 450x10^8	ν_1 = 0,20 ν_2 = 0,20 ν_3 = 0,19 ν_4 = 0,20	ν = 0,20
(D-3)	"	E = 450x10^8	"	ν = 0,20
(D-4)	"	E = 450x10^8	"	ν = 0,20

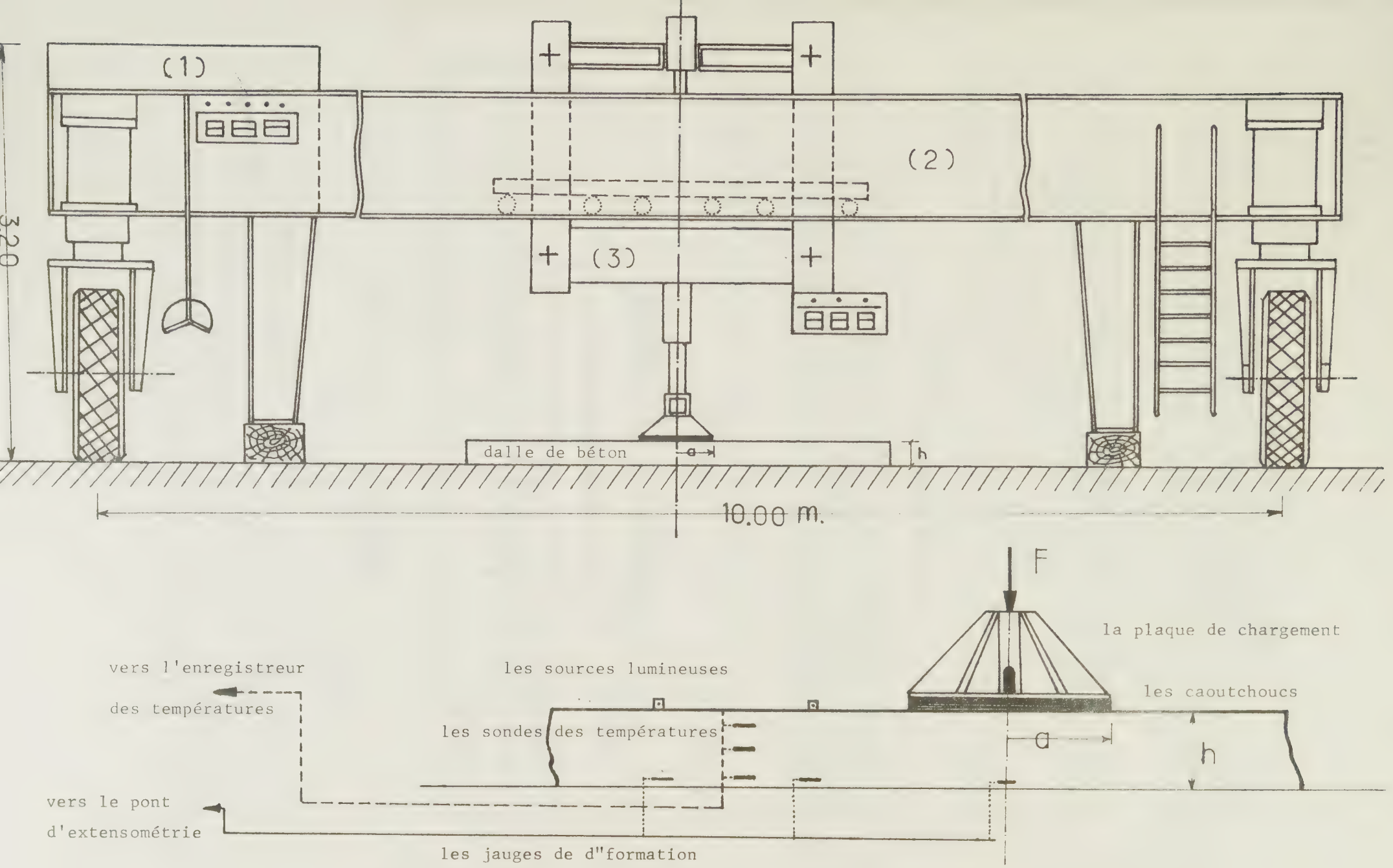
5° - UTILISATION DES APPAREILS DE LA MANIPULATION

5°-1- CHARGE D'APPLICATION DE LA CHARGE STATIQUE

Le portique de mise en charge, applique des charges statiques ou des pressions uniformément réparties aux endroits souhaités sur les dalles. Les dimensions de ce portique sont telles qu'il puisse enjamber les zones d'essais; on a 8 m. entre les pieds et une longueur totale de 10,60 m. Le poids total du portique lesté est de 35 tonnes. Le portique de mise en charge se compose de trois parties :

5° - 11 - Un moteur Diesel de 100 CV pour les déplacements en dehors des zones de travail.

5° - 12 - La poutre principale : C'est sur la poutre que se déplace le chariot roulant. Le portique est appuyé d'une part, sur quatre vérins hydrauliques, mais peut reposer sur quatre pieds fixes.


(1)
(2)
(3)
3.20
dalle de béton
a
h
10.00 m.
F
la plaque de chargement
les caoutchoucs
les sources lumineuses
vers l'enregistreur
des températures
les sondes des températures
a
h
vers le pont
d'extensométrie
les jauges de d"formation

(SCEMA-25)

5° - 13 - Le Chariot roulant - Un chariot roulant sur la poutre principale permet d'amener le dispositif de mise en charge à l'emplacement désiré. Ce chariot est une partie essentielle du portique de mise en charge car il contient le système de chargement statique. Il comprend une pompe hydraulique génératrice de la charge au débit 30 lit./mn de même qu'un lest pour annuler la réaction de la charge fournie.

Le maximum de la charge obtenue suivant l'axe de chargement est de 27 tonnes. Pendant les mesures, le portique de mise en charge repose sur quatre pieds fixes solidaires de la poutre principale.

Par l'intermédiaire du système de commande d'asservissement accroché au chariot, on peut régler la position de celui-ci sur la poutre principale et mettre la charge désirée.

5° - 2 - LA CHAINE DU CHAUFFAGE

Comme nous l'avons expliqué au chapitre II, pour introduire certaines conditions thermiques, c'est-à-dire pour avoir des gradients de température assez forts dans les dalles du béton, nous avons utilisé des tubes infrarouges étant donné que les gradients des températures produits par l'ensoleillement à ROUEN étaient peu élevés et non contrôlables.

Les rayons infrarouges sont des ondes électromatnétiq ues, de même nature que la lumière, mais de longueur d'ondes plus grande.

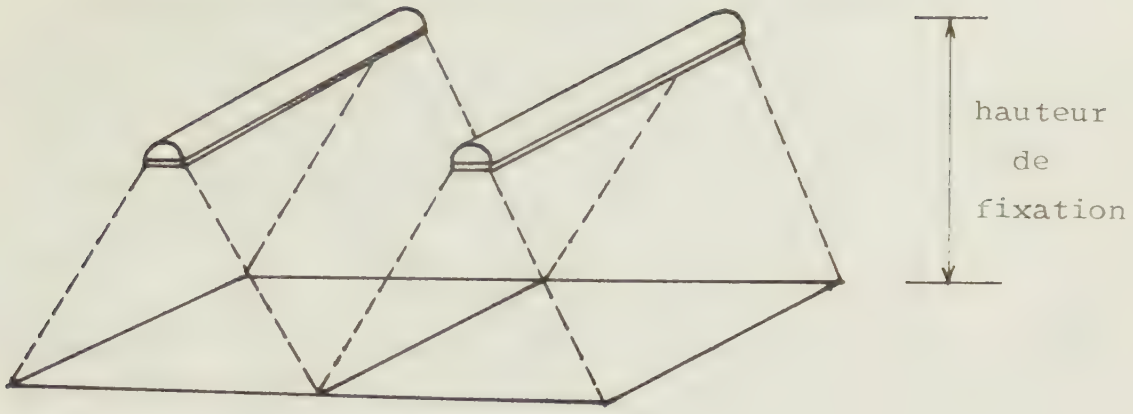
Ces ondes se propagent parfaitement dans le vide et traversent l'air pratiquement sans absorption.

5° - 21 - Caractéristiques des infratubes utilisés

LONGUEUR	TENSION	PUISSANCE
845 mm	230 V.	1 200 W

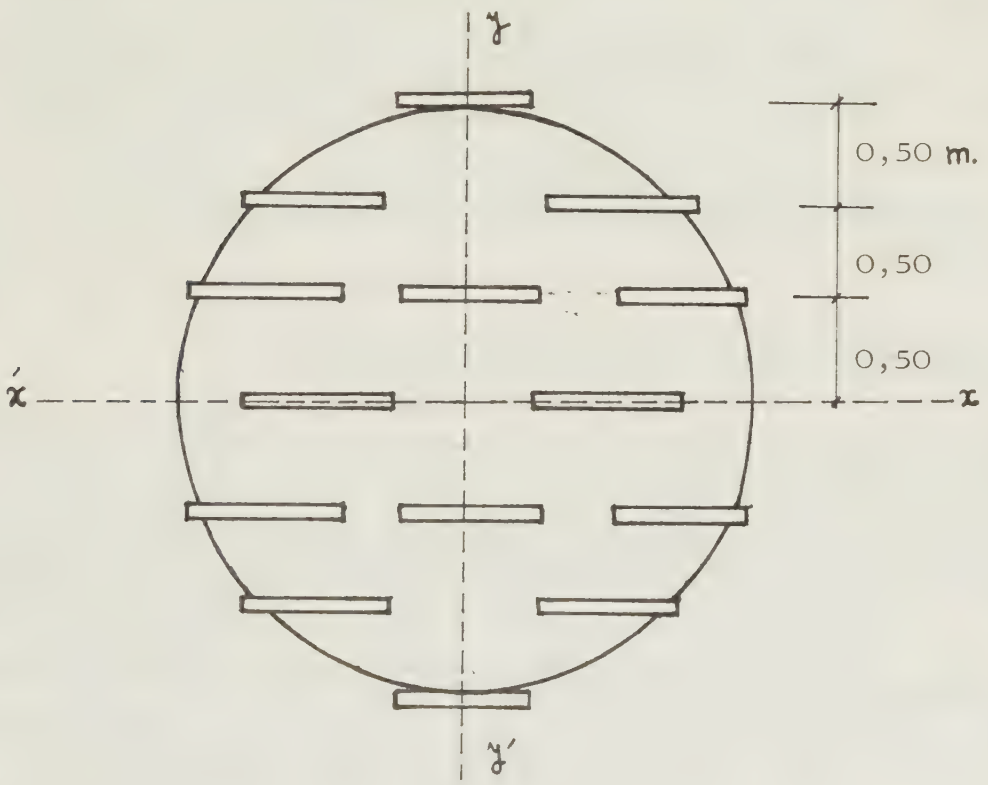
5 - 22- Nombre et Hauteurs de fixation des appareils de chauffage

Il est assez difficile d'établir, de manière absolue les règles permettant de définir ces dimensions. Pour obtenir un chauffage uniforme, il faut que les surfaces irradiées par chaque appareil se juxtaposent au mieux et présentent un léger recouvrement.



(schéma - 26)

Dans notre essai, en considérant l'hypothèse au-dessus et la possibilité des alimentations des infratubes sur la bande d'essai , on est arrivé à couvrir chacune des dalles avec 14 tubes infrarouges d'une hauteur de fixation moyenne de 1,10m.



(schéma - 27)

Les relevés de températures aux différents points des surfaces des dalles ont montré que la répartition de la température sur une surface horizontale est presque uniforme.

5° - 3. CHAINE DE MESURE DES DEPLACEMENTS VERTICAUX

Les déplacements verticaux sur les dalles sont mesurés avec le déflectomètre optique. Le déflectomètre optique est une lunette avec des propriétés suivantes :

- grande distance focale
- faible encombrement
- Objectif et oculaire fixes, la mise au point s'effectuant au moyen d'un dispositif annexe.
- Mesure de déplacements linéaires et non d'écarts angulaires.

Les déplacements étant verticaux, si α est l'angle que fait le rayon lumineux avec l'horizontale l'erreur relative dûe à cette inclinaison est $\alpha^2/2$. Par construction, pour une distance normale de visée (3.5 m) cette inclinaison est de 3° et, par conséquent, l'erreur dûe à cette inclinaison est de 1/730 du déplacement.

Si la source lumineuse se trouve à moins de 2 m. de l'appareil aucune mesure n'est possible. De 2 m. à 6 m. les lectures sont faciles avec un optimum pour la zone 3 à 4 m.

Toutes nos mesures ont été faites avec une distance source-appareil de 4 m. (0,50 m. près). Nous étions assurés d'avoir l'appareil hors de la zone d'influence de la charge.

L'ordre de précision de cet appareil est 1×10^{-5} m. Il ne faut pas oublier qu'une lecture assez bonne nécessite une source assez lumineuse.

5° - 4 - CHAINE DE MESURE DES DEFORMATIONS

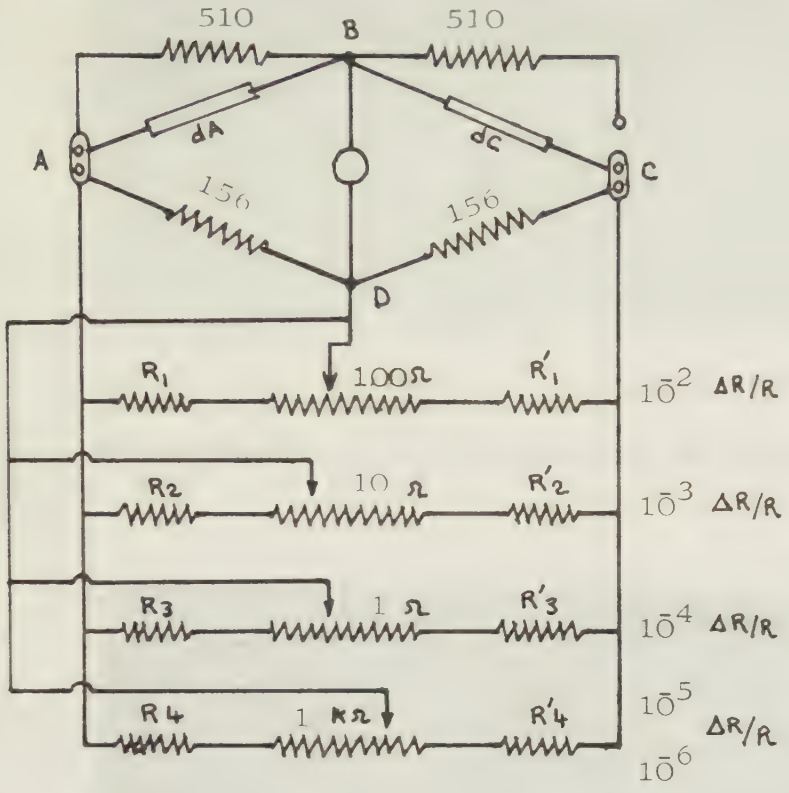
Les mesures des déformations radiales et tangentielles sont effectuées à l'aide des jauges PML-60 et l'extensomètre statique(B - 21).

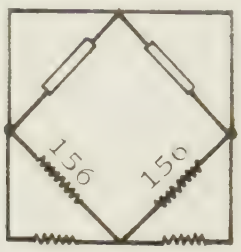
Le pont (B - 21) qui consiste à shunter deux bras de ce pont par des banches auxiliaires successives de résistance variable.

Pour les bras auxiliaires, chaque plot correspond à un déséquilibre :

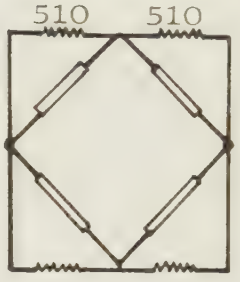
- 10^{-2} de $\frac{AR}{R}$ dans la première décale
- 10^{-3} de $\frac{AR}{R}$ dans la seconde "
- 10^{-4} de $\frac{AR}{R}$ dans la troisième "

Un quatrième élément, constitué par un potentiomètre couvre une plage totale de $\Delta R/R$ égale à 10^{-5} avec 100 divisions





demi-pont



pont complet

(schéma - 28)

Le pont 21 est un extensomètre statique avec équilibrage parallèle. Les mesures des déformations dans les dalles sont effectuées à la position demi-pont et le coefficient K égal à 2,1 dans tous les calculs.

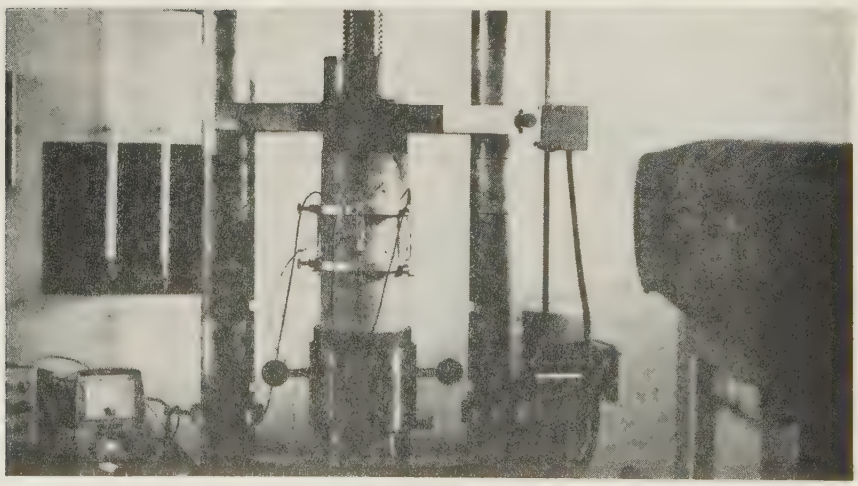
5° - 5 - CHAINE D'ENREGISTREMENT DES TEMPERATURES

Les températures sont enregistrées avec un enregistreur potentiométrique M.E.C.I. à l'aide de sondes de températures placées dans les dalles. Les potentiomètres mesurent la force électromotrice engendrée par les sondes. On sait que cette force électromotrice est une fonction déterminée de la température à laquelle sont soumises les sondes des températures.

L'erreur maximum possible d'appareil relève de causes diverses dont certaines ont un effet constant, et leur fidélité est, en définitive, toujours meilleure que leur exactitude.

Position des sources lumineuses et de la plaque de chargement.

Pont (B–21) pour mesurer les allongements.

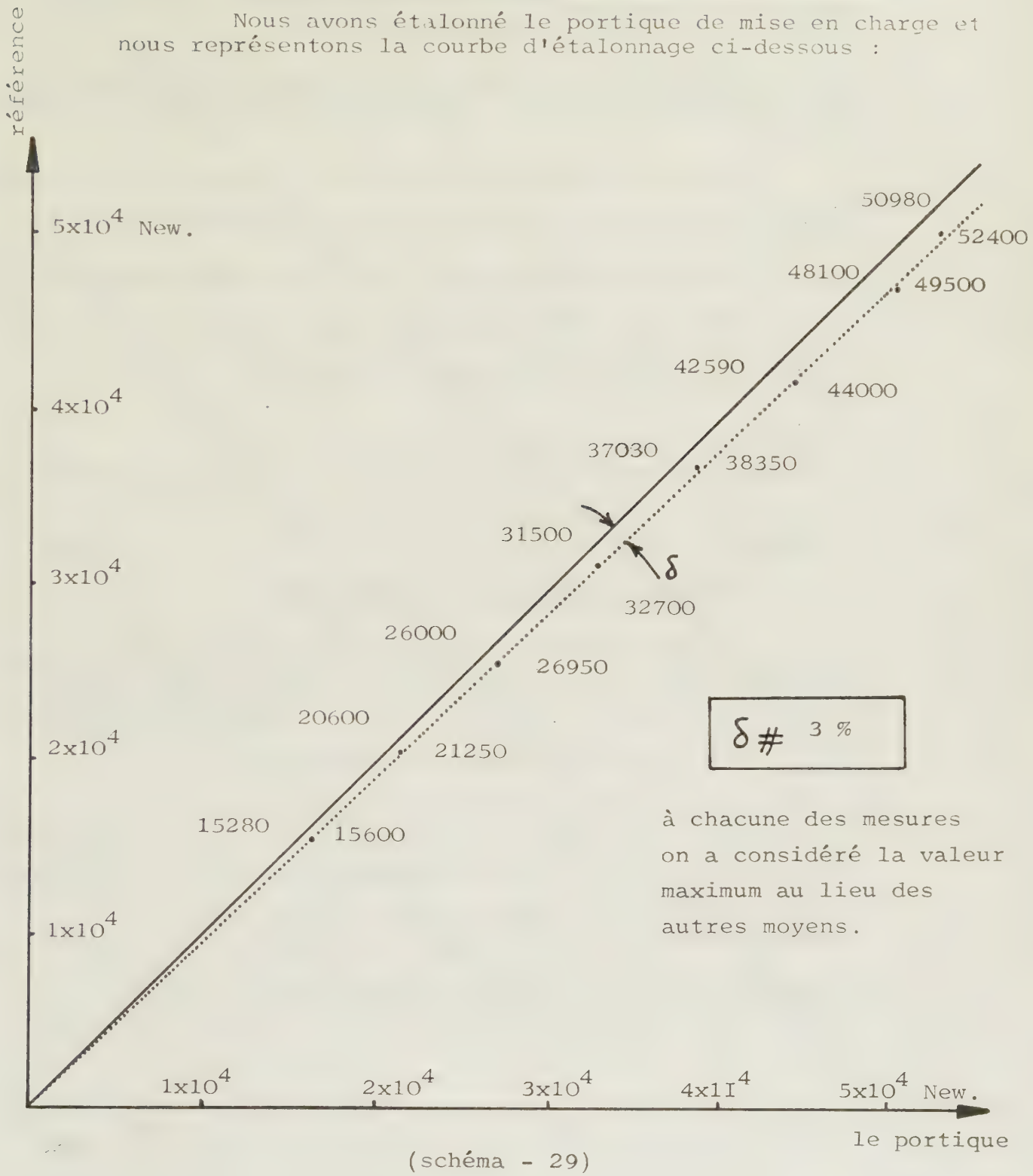


Système de mesure des modules d'Young du béton.

6° - ETALONNAGES DES APPAREILS ET CALCULS DES INCERTITUDES

6° - 1 - CHAINE D'APPLICATION DE LA CHARGE STATIQUE

Nous avons étalonné le portique de mise en charge et nous représentons la courbe d'étalonnage ci-dessous :



δ # 3 %

à chacune des mesures on a considéré la valeur maximum au lieu des autres moyens.

(schéma - 29)

Comme nous le voyons, l'incertitude finale dûe à la chaine d'application de la charge statique est + 3%

6° - 2- CHAINE DE MESURE DES DEPLACEMENTS

La chaîne de mesure des déplacements verticaux est étalonnée en comparaison avec le capteur (GT - 10 - TESA) qui est un instrument de précision .

Le schéma (30) représente les courbes d'étalonnages avec une distance (source - déflectomètre)de 4,00 m.(à 0,50 m. près)

Dans les courbes d'étalonnages, on a choisi la valeur maximum au lieu de la moyenne quadratique $\left[(1/m)\left(\sum_{1}^{m} g_i^2\right)^{1/2}\right]$ entre les mesures obtenues pour chacun des déplacements.

Nous avons déduit les résultats suivants :

. Incertitude sur l'étalonnage des appareils et sur la lecture des appareils ..... ± 3%

. Incertitude sur la mesure des distances des sources aux centres des dalles (0,50 m.près) ± 0,5%

. Incertitude sur l'intensité de la force appliquée ..... ± 3%

6° - 3 - CHAINE DE MESURE DES DEFORMATIONS

L'erreur absolue de cette chaîne est très faible, de l'ordre $\pm 1 \times 10^{-6}$, mais l'erreur de la lecture (surtout au galvanomètre) et l'erreur relative (qui est dûe aux mauvaises positions des jauges en hauteur) sont considérables.

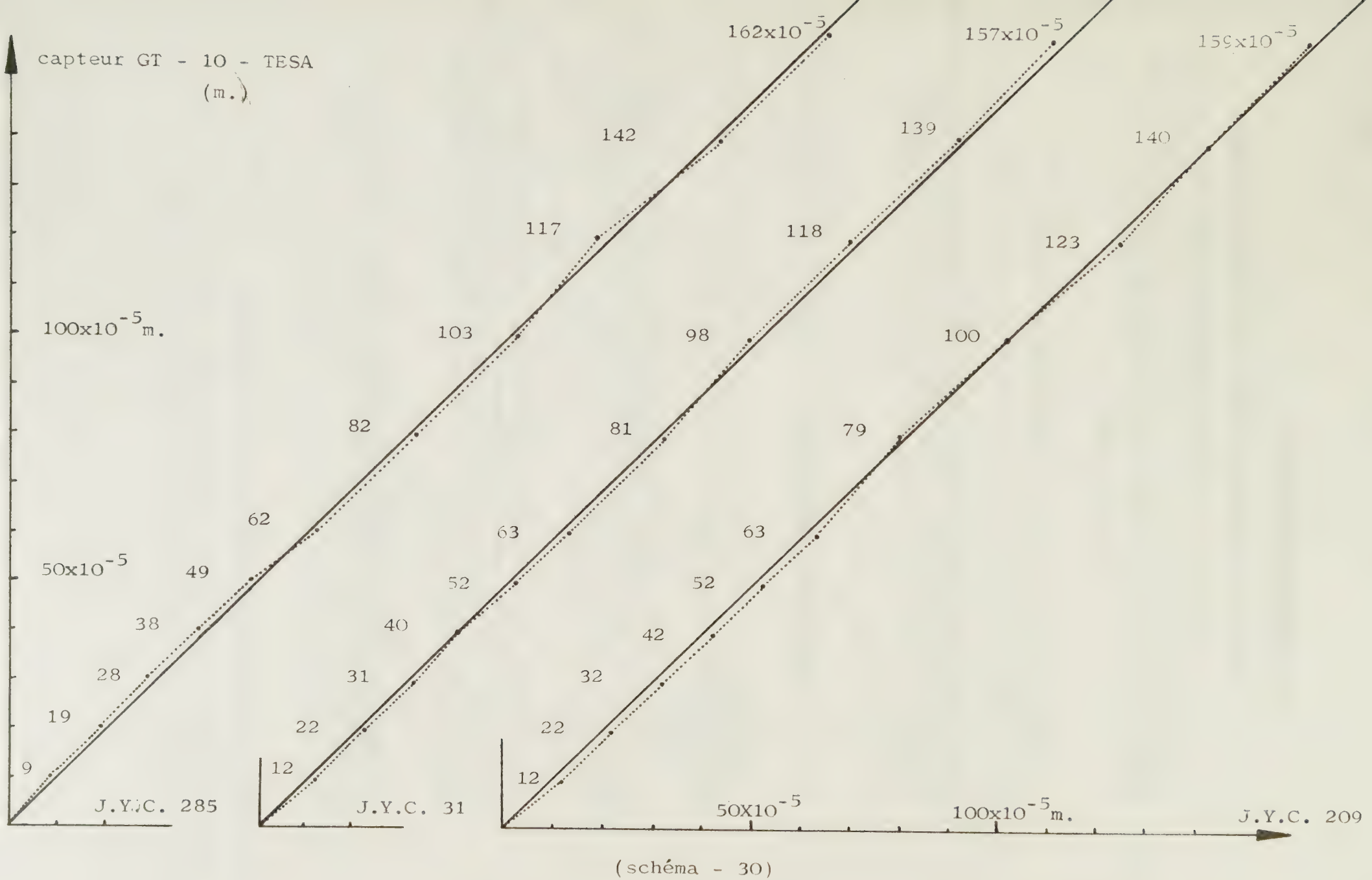
Les incertitudes ont été évaluées à :

. Incertitude sur l'étalonnage des appareils de mesure ..... $\pm 1 \times 10^{-6}$

. Incertitude sur la lecture des appareils... $\pm 4 \times 10^{-6}$

. Incertitude sur les distances des jauges aux surfaces des dalles (à 0,005 m.près)..... ± 10%

. Incertitude sur l'intensité de la force appliquée ..... ± 3%


capteur GT - 10 - TESA
(m.)
100x10-5m.
50x10-5
9
19
28
38
49
62
82
103
117
142
162x10-5
J.Y.C. 285
12
22
31
40
52
63
81
98
118
139
157x10-5
J.Y.C. 31
12
22
32
42
52
63
79
100
123
140
159x10-5
50X10-5
100x10-5m.
J.Y.C. 209

(schéma - 30)

7° - MODE OPERATOIRE

7° - 1 - CHOIX DE LA CHARGE LIMITE A IMPOSER AUX DALLES

En vue d'éviter la fissuration des dalles par fatigue; on a pris des précautions afin de ne pas dépasser la limite élastique. On peut calculer la déformation dépendant de cette limite élastique, à l'aide de la formule élémentaire d'élasticité :

$$\varepsilon = \sigma / 0{,}6\,E$$

En connaissant, $E = 500 \times 10^8$ et $\sigma = 3 \times 10^6$ pascal, on a : $\varepsilon = 100 \times 10^{-6}$

En premier lieu, dans chaque essai, nous avons mesuré la déformation d'une jauge, située au centre de la dalle sous une charge plus faible. En considérant l'hypothèse de linéarité, on peut calculer immédiatement la charge correspondante à

$$\varepsilon = 100 \times 10^{-6}$$

7° - 2 - DEROULEMENT DES ESSAIS

En premier lieu, nous avons choisi une plaque (rayon du chargement) et le nombre de sources. Ensuite, les plaques et les sources sont mises aux endroits prévus.

Ensuite, nous réglons les chaînes de mesure des déplacements, des déformations, des températures. Le réglage de la chaîne de mesure des déplacements s'effectue de façon à ce que le réticule de chacune des sources (à distance 4,00 m) soit confondu avec le zéro de chacun des déflectomètres.

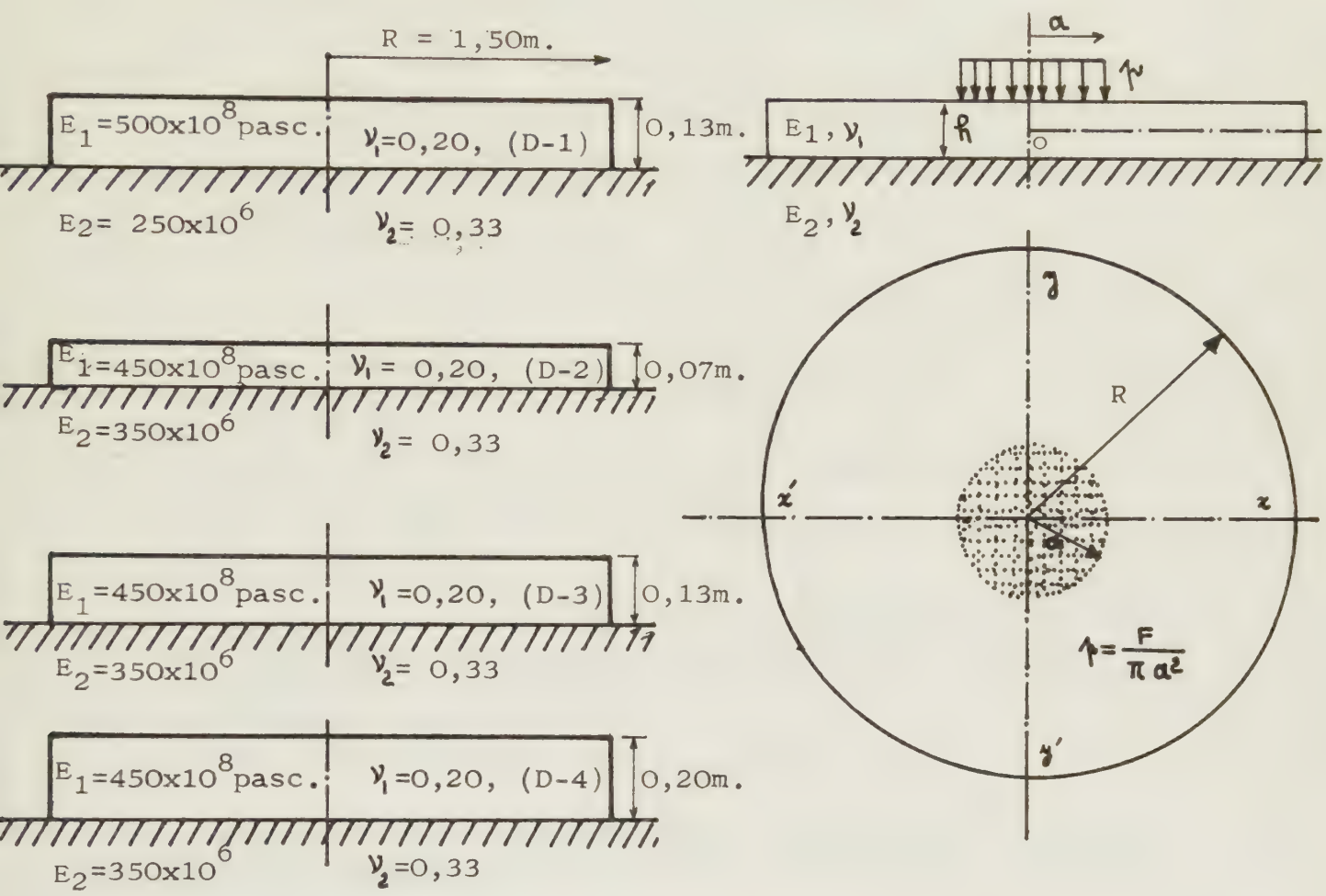
Pour régler la chaîne de mesure des déformations, il suffit donc de ramener le galvanomètre du pont (B - 21) au point zéro. Le réglage d'enregistrement des températures se fait automatiquement. Nous n'avons qu'à marquer le point de départ sur l'enregistreur.

Enfin, on applique la charge prévue à l'aide d'un dynamomètre que l'on observera attentivement. En cas de chauffage, la dalle devra être chauffée avant toute application de la charge statique.

C H A P I T R E I I I - 2ème PARTIE

1° - PROGRAMME DES ESSAIS

On représente les dalles d'essai avec leurs caractéristiques :



(schéma - 31)

1°- 1;- ESSAIS SUR LES DALLES DE BETON

Les essais ont été faits sur les quatre dalles de caractéristiques exprimées ci-dessus, en respectant les étapes suivantes :

1° - 11 - Chargements et déchargements centrés, sans gradients

Nous avons mesuré les déplacements verticaux des surfaces et les déformations horizontales radiales et tangentielles des interfaces des dalles dans les cas suivants :

1°- 11,1 : direction $o\,x$ de (D-1)-relative à la direction dans laquelle se trouvaient les points de mesure)

a = 0,15 m. , F = 4, 6, 8, 10 x 10^4 New.

a = 0,20 , F = 4, 6,8, 10 x 10^4

a = 0,25 , F = 4, 6, 8, 10 x 10^4

a = 0,30 , F = 6, 8, 10, 12 x 10^4

1°- 11,2 : Direction $o\,x$ de (D-2)

a = 0,15 m. , F = 2,5 , 5, 6 x 10^4 New.

a = 0,20 m , F = 2,5 , 5, 6 x 10^4

a = 0,25 , F = 2,5 , 5, 6 x 10^4

1°- 11,3 : Direction $o\,x$ de (D-3)

a = 0,15 m. , F = 5, 10 x 10^4 New.

a = 0,20 , F = 5, 10 , 12,5 x 10^4

a = 0,25 , F = 5, 10 , 12,5 x 10^4

a = 0,25 , F = 5 10 , 12,5 x 10^4

1°- 11,4 : Direction $o\,x$ de (D-4)

a = 0,10 m. , F = 10, 12,5, 15 x 10^4 New.

a =0,15 , F = 10, 12,5, 15 x 10^4

a = 0,20 , F = 10, 12,5 , 15 x 10^4

1°- 12 : <u>Chargements et déchargements centrés sans gradient</u>

On a mesuré les déplacements verticaux des surfaces des dalles selon les cas suivants :

1° 12,1 : Les directions $o\,x'$, $o\,y$, $o\,y'$ de la (D-1)

a = 0,15 m. , F = 10 x 10^4 New.

a = 0,20 , F = 10 x 10^4

a = 0,25 , F = 10 x 10^4

a = 0,30 , F = 10 x 10^4

1°- 12,2 : Directions $o x'$, $o y$, $o y'$ de la (D-2)

a = 0,15, 0,20, 0,25m. , F = 5×10^4 New.

1°- 12,3 : Directions $o x'$, $o y$, $o y'$ de la (D-3)

a = 0,15, 0,20, 0,25m. , F = 10×10^4 New.

1°- 12,4 = Directions $o x'$, $o y$, $o y'$ de la (D-4)

a = 0,10, 0,15, 0,20m. , F = $12,5 \times 10^4$ New.

1°- 13 = Chargements et déchargements excentrés, sans gradient

Les mesures des déplacements verticaux sont effectuées sur les directions $x'ox$ et $y'oy$ sur la surface de la (D-1) dans les cas suivants :

a = 0,15 m., F = 10×10^4, excentricité = 0,25, 0,50m.

a = 0,20 , F = 10×10^4 ,excentricité = 0,25, 0,50

a = 0,25 , F = 10×10^4 ,excentricité = 0,25, 0,50

a = 0,30 , F = 10×10^4 ,excentricité = 0,25, 0,50

1°- 14 : Chargements et déchargements centrés avec gradients

Nous avons mesuré les déplacements verticaux des surfaces par rapport à la position initiale (sansgradient) et les répartitions les températures aux profondeurs des dalles selon les cas suivants :

1°- 14,1 : Direction ox de la (D-2)

a = 0,20m., F = 5×10^4 New., $\frac{\partial \theta}{\partial y}$ = 57,85,40,100,36 °C/m.

1°- 14,2 : Direction Ox de la (D-3)

a = 0,15 m., F = 10×10^4 New, $\frac{\partial \theta}{\partial y}$ = 60,100,107,60,115, 60 °c/m.

1° - 14,3 : Direction ox de la (D-4)

a = 0,10 m. , F = $12,5 \times 10^4$ New.

$$\frac{\partial \theta}{\partial y} = \begin{matrix}(108 & (153 & (130 & & (100 & (150 & (150 \\ ) & ,) & ,) & , 40 ,) & , 50) & , 35,) & , 40 \\ (46 & (50 & (50 & & (50 & (57 & (57\end{matrix} \quad °c/m$$

1°- 15 : Chargements et déchargements thermiques

Dans ce cas, on a mesuré les déplacements verticaux des surfaces et les répartitions des températures à l'intérieur des dalles dans les positions suivantes :

1- 15,1 : Direction Ox de la (D-1)

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 25 \quad , 50, \quad 75 \qquad {}^{\circ}C/m$$

1- 15,2 : Direction Ox de la (D-2)

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 57, \ 85, \ 100 \qquad {}^{\circ}C/m$$

1- 15,3 : Direction Ox de la (D-3)

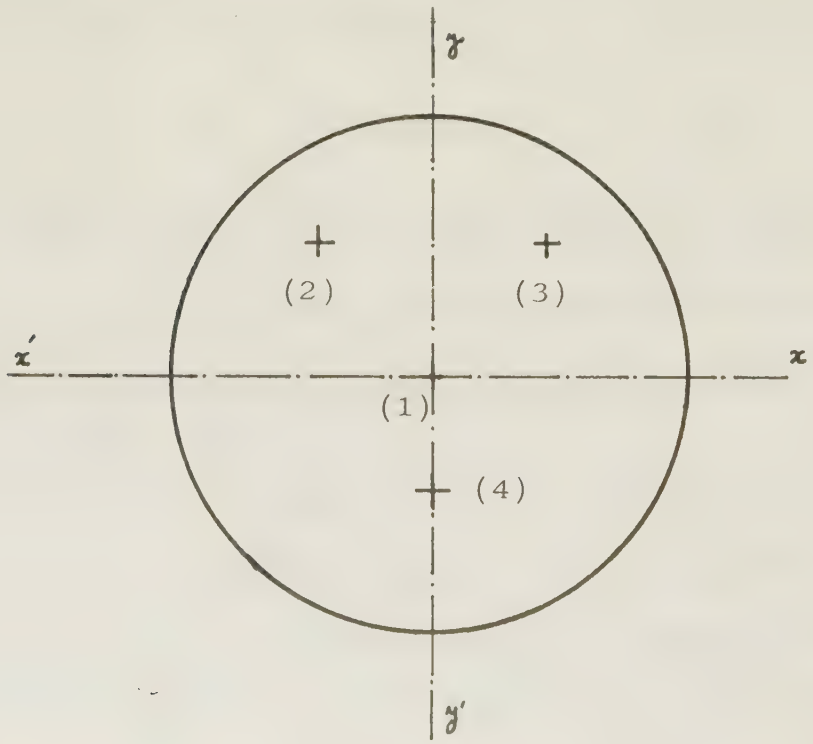
$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 60, \ 100, \ 107, \ 115 \qquad {}^{\circ}C/m$$

1- 15,4 : Direction Ox de la (D-4)

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 60, \ 60, \ 70 \qquad {}^{\circ}C/m$$

1°-2 : ESSAIS SUR LES SUPPORTS DES DALLES (Essais de plaque)

Nous avons calculé le module YOUNG des supports des dalles en utilisant les essais des plaques placées aux positions 1, 2 3 et 4 pour chaque dalle



2° - MESURES EFFECTUEES

2° - 1 : DEPLACEMENTS VERTICAUX DES SURFACES DES DALLES

Comme nous l'avons indiqué, celles-ci ont été mesurées au moyen des sources lumineuses, posées aux points déterminés sur quatre dalles représentées au schéma (30) . Les points sont choisis de sorte que, d'une part, nous ayons avantage à travailler sur un rayon arbitraire car en utilisant une symétrie de révolution on a :

$\frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial \psi} = 0$, $\frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial r} \neq 0$ ($\vec{\varphi}$ étant une fonction de déformation

D'autre part, les distances des points aux centres correspondent à des multiples entiers des grandeurs des maillages du programme de calcul. Exemple :

La grandeur d'une maille est $\frac{R}{(N + 2) - 1} = \frac{1,50 \text{ m}}{(26 + 2) - 1} = \frac{1,50}{27}$ m.

et les distances sont :

$1,50/_{27} \times 5 = 0,277$ m; $1,50/_{27} \times 9 = 0,50$ m.

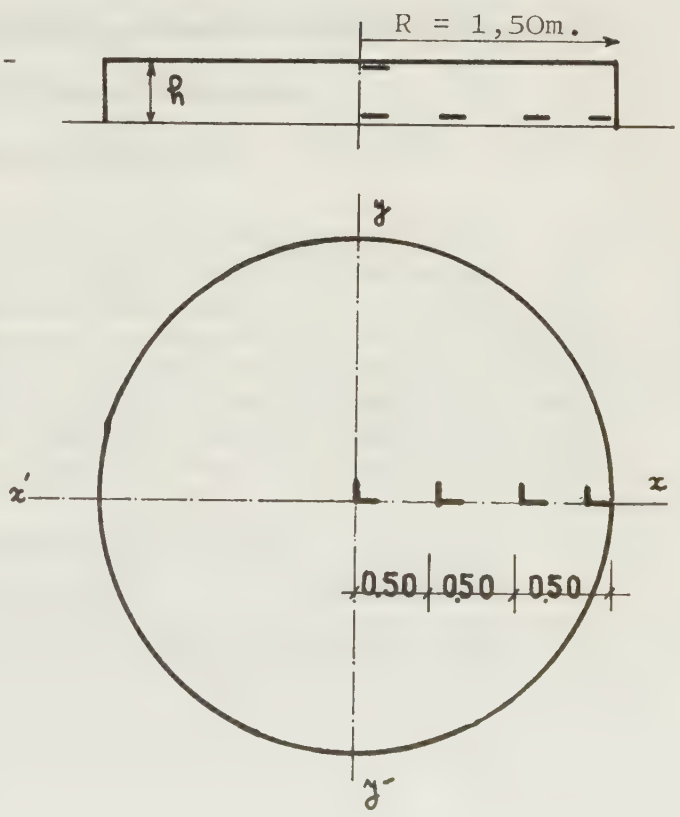
$1,50/_{27} \times 18 = 1,00$ m; $1,50/_{27} \times 27 = 1,50$ m.

2° - 2 : DEFORMATIONS HORIZONTALES, RADIALES ET TANGENTIELLES

Les mesures des déformations sont réalisées par l'intermédiaire des jauges de déformations. A cause d'une symétrie de révolution, nous les avons mises sur un rayon arbitraire de la dalle donnée.

le schéma (31) représente les positions des jauges à l'intérieur des dalles.

Ces positions sont les mêmes pour toutes les dalles.



(schéma - 31)

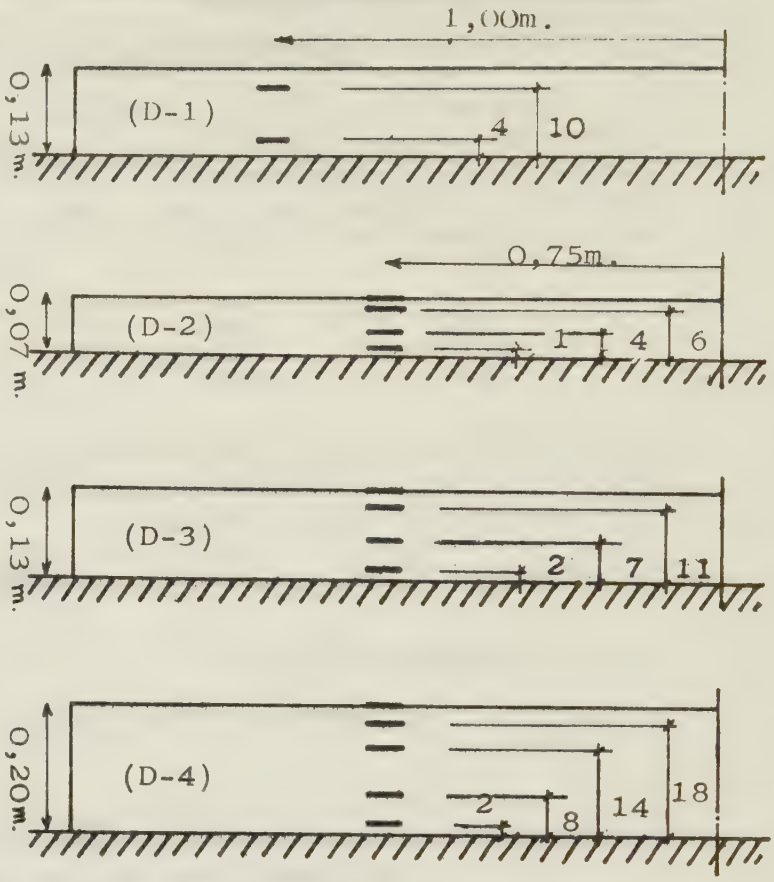
2° - 3- REPARTITIONS DES TEMPERATURES DES DALLES

Le schéma (33) représente les positions des sondes des températures

On a

$$\frac{\partial \theta}{\partial \varphi}=0 \ , \ \frac{\partial \theta}{\partial r}=0 \ , \ \frac{\partial \theta}{\partial z}\neq 0$$

Nous pouvons constater que chaque répartition est valable pour l'ensemble de la dalle, en tenant compte que les isothermes sont horizontaux.



(schéma - 33)

3° - REPRESENTATIONS DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

3° - 1 : DEPLACEMENTS VERTICAUX DES DALLES

3°- 11 : Chargements centrés sans gradient

Les tableaux (41) à (53) donnent les valeurs moyennes des déplacements élastiques suivant un rayon pour les (D-1), (D-2),(D-3), (D-4) aux différents rayons de chargement. Pour faciliter les comparaisons des résultats expérimentaux et des calculs, nous avons reporté les résultats théoriques sur les mêm es tableaux. Les Fig.(41) à (53) représentent les variations des déplacements verticaux des surfaces des (D-1), (D-2), (D-3) (D-4) en fonction de r, ainsi que les courbes théoriques.

3°/ 12 : Chargements excentrés sans gradient

Le tableau (54)nous montre les valeurs des déplacements verticaux pour différents rayons de chargement pour la (D-1) avec les différentes excentricités du chargement.

3° - 13 - Chargements contrôlés avec gradient

Les valeurs moyennes des déplacements verticaux suivant un rayon des dalles (D-2), (D-3), (D-4) aux différents gradients des températures sous les pressions constantes, sont présentées aux tableaux (55) à (62). Les fig. (55) à (62) représentent respectivement les courbes expérimentales obtenues de ces tableaux. De plus, nous avons représenté les courbes théoriques correspondant à chacun des cas indiqués dans les tableaux ci-dessus.

Nous avons déterminé les déplacements élastiques des (D-2) , (D-3), (D-4), saus les différents gradients de températures dans les tableaux (63) à (71) . D'autre part, les Fig. (63) à (71)représentent les déplacements des différents points d'un rayon et les décollages des dalles.

3° - 14 - Chargements thermiques

Nous avons au moyen du tableau et Fig.(72)les déplacements verticaux dûs aux différents gradients dans la (D-1). De plus, les figures relatives aux (D-2), (D-3), et (D-4) sont mentionnées automatiquement dans les tableaux et fig.(55) à (62)

3°- 2 - DEFORMATIONS HORIZONTALES, RADIALES et TANGENTIELLES

Les valeurs des déformations horizontales et tangentielles mesurées par les jauges placées aux interfaces des dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4) sont rassemblées dans les tableaux (73) à (79). les figures (73) à (79) montrent les repartitions des déformations radiales et tangentielles relatives aux interfaces de la direction Ox des dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4) . Nous avons aussi tracé les courbes théoriques correspondantes au modèle de BURMISTER.

3°- 3 - REPARTITION DES TEMPERATURES

Les Fig. (80) à (86)montrent les répartitions verticales des températures des dalles (D-2), (D-3), (D-4) pendant les chargements. De plus, les Fig. (80) à (86) représentent les répartitions des températures juste avant l'interruption du chauffage des dalles (D-2), (D-3), (D-4).

3°- 4 - DIAGRAMMES DE LINEARITES ET ISOTROPIES

3° - 41 : Linéarité des déplacements verticaux

Les tableaux et les fig. (87) à (90) représentent les linéarités des déplacements verticaux des (D-1), (D-2), (D-3) (D-4) aux différents rayons du chargement.

3° - 42 - Linéarité des déformations radiales

Les tableaux et les fig. (91) à (93) montrent les linéarités des (ε_r) pour les (D-1), (D-2), (D-3) aux différents rayons du chargement.

3° - 43 - Linéarité des déformations tangentielles

Les tableaux et les fig. (94) à (96) prouvent des linéarités des (ε_t) pour des (D-1), (D-2), (D-3)

3° - 44 - Linéarité des $(w/a.\varepsilon)$

Les fig. (97) à (101) montrent la linéarité des $(w/a.\varepsilon)$ par rapport aux rayons du chargement au centre des (D-1), (D-2) (D-3)

3°- 45 - L'Isotropie des dalles

Les tableaux et les fig.(102) à (105) représentent l'isotropie des (D-1), (D-2), (D-3), (D-4) au moyen des déplacements verticaux.

3°- 5 - DEPLACEMENTS ELASTIQUES VERTICAUX DES SUPPORTS

Les valeurs des déplacements totaux, plastiques, élastiques des supports des (D-1), (D-2), (D-3), (D-4) sont regroupées aux tableaux (106) à (109). Les figures (106) à (109) représentent les courbes d'écrouissage des emplacements des supports (D-1), (D-2), (D-3), (D-4).

4°- ANALYSE ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

4°- 1 - EN L'ABSENCE DU GRADIENT DE TEMPERATURE

Dans tous les paragraphes suivants, il n'y a aucun gradient de température entre la surface et les interfaces des dalles. La température (à tous les points des dalles) est supposée comme l'égale de la température ambiante.

4°- 11 - Déplacements verticaux des dalles

Les valeurs moyennes des déplacements élastiques verticaux, sur les surfaces des dalles sont portées sur les Fig. (41) à (53) en fonction de n sous les charges données. Sur les mêmes figures sont aussi portées les valeurs théoriques.

Nous avons préparé le tableau suivant pour les déplacements verticaux maximum des dalles d'épaisseur moyenne :

F = 10 x 10^4 New.	(D-1)				(D-3)		
a(m.)	0,15	0,20	0,25	0,30	0,15	0,20	0,25
ω au centre (m.)	$35x10^{-5}$	$34x10^{-5}$	$33x10^{-5}$	$32x10^{-5}$	$34x10^{-5}$	$33x10^{-5}$	$31x10^{-5}$

Comme nous le voyons, $\Delta\omega = 1/5\ \Delta a$. C'est-à-dire que la variation de la flèche au centre est faible par rapport à la variation de a. Les expériences montrent que, sous une charge constante, les courbes des déplacements relatives aux petits rayons de chargement sont plus denses que celles relatives aux grands rayons de chargement. De plus, la forme des courbes des dalles épaisses a tendance à former une droite. Le problème très important, pour les dalles finies, est celui du décollement des bords des dalles sous charges statiques assez importantes

	DALLE MINCE			DALLE MOYENNE						DALLE EPAISSE		
la dalle	D-2	D-2	D-2	D-1	D-1	D-1	D-1	D-3	D-3	D-3	D-4	D-4	D-4
ω Bord (10^{-5}m.)	+12	+12	+10	-2,5	-2,5	- 3	- 4	- 1	-4	- 4	-13	-12	-12

Comme nous le remarquons ci-dessus, la dalle d'épaisseur moyenne est à la limite de décollement. Il en résulte que les dalles minces se décollent franchement, sur leur pourtour; en contrepartie, les dalles épaisses ne subissent pas de décollement.

4°-12 - Déformations radiales et tangentielles

Les figures (73) à (79) représentent les variations des allongements et les raccourcissements des dalles (D-1), (D-2), (D-3), (D-4).

De plus, elles indiquent les courbes théoriques. Comme les courbes expérimentales, les déformations tangentielles sont en position d'allongement, mais les déformations radiales modifient leurs signes à partir de certaines zones.

Cependant, nous pouvons dire que celles-ci sont des points d'inclinaison des courbes des déplacements.Le maximum des courbes se trouve aux centres des dalles .

Le tableau suivant montre les valeurs maximum expérimentale aux centres de celles-ci

DALLE	D-1	D-1	D-1	D-1	D-2	D-2	D-2	D-3	D-3	D-3
ε_r au centre (10^{-6})	100	97	94	96	71	84	60	94	75	60
ε_t au centre (10^{-6})	88	86	90	85	70	84	60	102	86	86

Théoriquement, nous avons $\varepsilon_r = \varepsilon_t$ pour $r = 0$, mais pratiquement les différences entre ε_r et ε_t proviennent de l'excentricité des jauges. Il est intéressant d'observer les résultats obtenus aux bords des dalles, pour cela les valeurs sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Dalle	D-1	D-1	D-1	D-1	D-2	D-2	D-2	D-3	D-3	D-3
ε_r au bord (10^{-6})	- 2	- 2	- 1	- 1	- 2	+ 1	0	-2	- 2	- 3
ε_t au bord (10^{-6})	+ 8	+ 8	+8	+ 6	+ 7	+10	+3	+7	+10	+ 7

Les (ε_r) sont presque nuls car on a :

$$\varepsilon_r = \frac{[\sigma_r - \nu(\sigma_t + \sigma_z)]}{E} \quad \text{et} \quad \begin{cases} r = R \\ \sigma_r = 0 \end{cases} \quad , \quad \nu(\sigma_t + \sigma_z) \neq 0 \longrightarrow \varepsilon_r \neq 0$$

$$\varepsilon_t = \frac{[\sigma_t - \nu(\sigma_r + \sigma_z)]}{E} \quad \text{et} \quad \begin{cases} r = R \\ \sigma_t \neq 0 \end{cases} \quad , \quad \nu(\sigma_r + \sigma_z) \neq 0 \longrightarrow \varepsilon_t \neq 0$$

4-13 - Etude de la linéarité et de l'Isotropie

4 - 13,1 : Linéarités des déplacements verticaux

Dans le chapitre I, tous les calculs sont basés sur l'élasticité linéaire, c'est-à-dire, sur la relation $U_i = \beta(F_i)$ où β est une fonction linéaire.

Toutes les courbes (87) à (96) prouvent cette hypothèse. Nous avons regroupé les pentes des courbes des dalles dans le tableau ci-dessous :

Dalle	Dalle mince		Dalle moyenne						Dalle épaisse	
la pente de $\beta(F)$	$\frac{36-20}{5-2,5} = 6,4$	$\frac{34-18}{5-2,5} = 6,4$	$\frac{35-13}{10-4} = 3,6$	$\frac{34-13}{10-4} = 3,5$	$\frac{33-13}{10-4} = 3,3$	$\frac{39-20}{12-6} = 3,1$	$\frac{34-18}{16-5} = 3,2$	$\frac{33-17}{10-5} = 3,2$	$\frac{29-23}{12,5-10} = 2,4$	$\frac{33-23}{15-10} = 2,0$

Il en résulte que :

* la pente $w = \beta(F)$ est presque constante, pour les petites variations des rayons du chargement dans une dalle donnée

* les pentes ont des valeurs décroissantes lorsque l'épaisseur de la dalle augmente.

4 - 13,2 : Linéarité des déformations horizontales

Pour montrer expérimentalement la linéarité, nous avons choisi la variation du ε_r et ε_t par rapport à la charge.

les figures (91) à (96) représentent la linéarité de $\varepsilon_r, \varepsilon_t$ pour une force appliquée aux dalles (D-1), (D-2), (D-3)

4 -13,3 : Linéarité $(w/a.\varepsilon)$ par rapport au rayon de chargement

De plus, nous avons considéré la variation $w/a.\varepsilon_r$ et $w/a.\varepsilon_t$ des centres des dalles (D-1), (D-2), (D-3) suivant différents rayons de chargement, nous avons obtenu les deux résultats suivants :

- les valeurs des $w/a.\varepsilon_r$ ou $w/a.\varepsilon_t$ sont presque constantes aux différentes charges sous les valeurs des (α) données.

- β est une fonction linéaire dans la relation:

$$w/a.\varepsilon = \beta(\alpha)$$

En utilisant les figures (97) à (101) comme un abaque, on peut calculer en première approximation la valeur w en connaissant α et ε_r

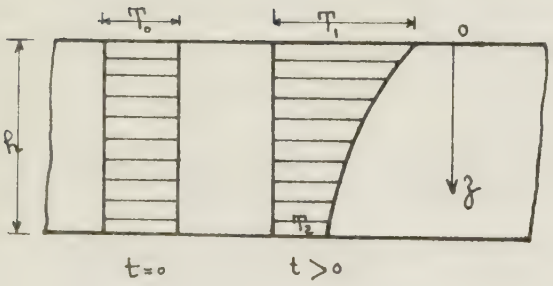
4 - 13,4 : Isotropie des dalles

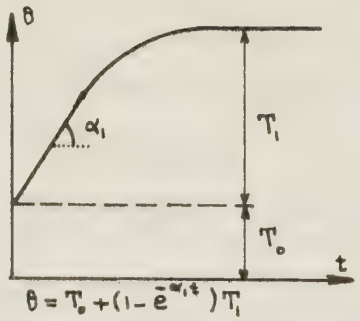
Les méthodes de calcul sont utilisées dans le domaine d'élasticité classique en tenant compte de l'hypothèse de linéarité et d'isotropie. En considérant la relation $U_i = \beta(\sigma_i)$, β est indépendant de la direction choisie autour d'un point de la dalle. Les figures (102) à (105) représentent les valeurs des déplacements verticaux d'un point donné en quatre directions (symétrie de révolution). En réalité, l'hétérogénéité du béton empêche d'avoir une isotropie parfaite. Nous pouvons évaluer le pourcentage d'isotropie des dalles en comparant les valeurs obtenues et les valeurs vraies.

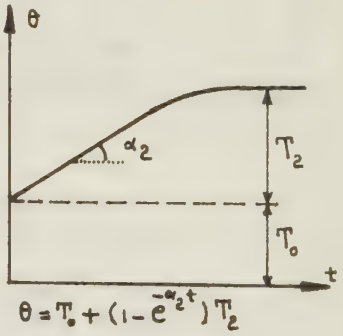
4° - 2. INFLUENCE DU GRADIENT DE TEMPERATURE

4°- 21 : Expression analytique des répartitions

Dans le chapitre II, nous avons donné la répartition qui correspond aux conditions naturelles. Nous allons trouver la répartition qui satisfait aux conditions des expériences effectuées. On est parti de l'équation de la chaleur,(nous avons résolu cette équation avec les hypothèses suivantes) :







(65)

- Condition initiale $\begin{cases} t = 0 \\ \theta = T_0 \end{cases}$ partout

- Condition des limites $\begin{cases} z = 0 \\ \theta = T_0 + (1 - e^{-\alpha_1 t}) T_1 \end{cases}$ $\begin{cases} z = h \\ \theta = T_0 + (1 - e^{-\alpha_2 t}) T_2 \end{cases}$

- Equation principale $\Lambda \dfrac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \dfrac{\partial \theta}{\partial t}$ d'où $\Lambda = \dfrac{\lambda}{c.\omega}$

Le cas général de l'équation chaleur est :

$$\Lambda\left[\frac{\partial^2\theta}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta}{\partial\psi}+\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\right]=\frac{\partial\theta}{\partial t}$$

mais à cause de la symétrie de révolution, nous avons

$$\frac{\partial}{\partial r}=0 \quad , \quad \frac{\partial}{\partial\psi}=0$$

pour résoudre l'équation (65), on utilise la transformation Laplace

$$L\{\theta\}=\bar{\theta}=\int_0^\infty e^{-st}\cdot\theta\cdot dt \qquad (66)$$

s est un nombre dont la partie réelle est positive et il est suffisamment grand pour que l'intégrale (66) converge. L'application de la méthode nécessite quelques théorèmes élémentaires, par exemple :

$$L\left\{\frac{\partial\theta}{\partial t}\right\}=s\cdot L\{\theta\}-T_0 \quad , \quad L\left\{\frac{\partial^m\theta}{\partial z^m}\right\}=\frac{\partial^m}{\partial z^m}\cdot L\{\theta\} \ *$$

Donc, après application de la transformation, les relations (65) s'écrivent :

- Condition initiale $\begin{cases} t=0 \\ \bar{\theta}=\dfrac{T_0}{s} \end{cases}$ partout

- Conditions aux limites $\begin{cases} z=0 \\ \bar{\theta}=\dfrac{T_0+T_1}{s}-\dfrac{T_1}{s+\alpha_1} \end{cases}$, $\begin{cases} z=h \\ \bar{\theta}=\dfrac{T_0+T_2}{s}-\dfrac{T_2}{s+\alpha_2} \end{cases}$

- Equation principale $$\frac{d^2\bar{\theta}}{dz^2}-\frac{s}{\Lambda}\bar{\theta}=-\frac{T_0}{\Lambda} \qquad (67)$$

On connait la résulution de l'équation différentielle (67)

$$\bar{\theta}=C_1 e^{\varphi z}+C_2 e^{-\varphi z}+\frac{T_0}{s} \quad , \text{ d'où } \quad \varphi^2=\pm\frac{s}{\Lambda} \qquad (68)$$

* la référence (10)

Pour déterminer les C_1 et C_2, on appuie sur les conditions limites et nous avons obtenu les valeurs suivantes :

$$C_1 = \frac{(T_2/s - T_2/s+\alpha_2) - (T_1/s - T_1/s+\alpha_1)\, e^{-\varphi h}}{2\, sh(\varphi h)}$$

$$C_2 = -\frac{(T_2/s - T_2/s+\alpha_2) - (T_1/s - T_1/s+\alpha_1)\, e^{\varphi h}}{2\, sh(\varphi h)}$$

Donc, après avoir transformé sh en fonction exponentielle, l'équation (68) s'écrit :

$$\bar{\theta} = \frac{(T_2/s - T_2/s+\alpha_2)\, e^{\varphi z} - (T_1/s - T_1/s+\alpha_1)\, e^{-\varphi(h-z)}}{e^{\varphi h}\,(1 - e^{-2\varphi h})}$$

$$- \frac{(T_2/s - T_2/s+\alpha_2)\, e^{-\varphi z} - (T_1/s - T_1/s+\alpha_1)\, e^{-\varphi(z-h)}}{e^{\varphi h}\,(1 - e^{-2\varphi h})} + \frac{T_0}{s}$$

on a $(1 - e^{-2\varphi h})^{-1} = \sum_{m=0}^{\infty} e^{-2m\varphi h}$ finalement l'équation (68) s'écrit :

(69)
$$\left\{ \begin{aligned} \bar{\theta} = {} & \frac{T_0}{s} + \frac{T_2}{s} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi X} - \frac{T_1}{s} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi Y} - \frac{T_2}{s} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi Z} \\ & + \frac{T_1}{s} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi U} - \frac{T_2}{s+\alpha_2} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi X} + \frac{T_1}{s+\alpha_1} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi Y} \\ & + \frac{T_2}{s+\alpha_2} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi Z} - \frac{T_1}{s+\alpha_1} \sum_{m=0}^{\infty} e^{-\varphi U} \end{aligned} \right.$$

d'où

$$X = 2mh + h - z \quad , \quad Y = 2mh + 2h - z$$

$$Z = 2mh + h + z \quad , \quad U = 2mh + z$$

Il nous reste la transformation inverse, pour cela, on utilisé le théorème de convolution :

si $$\bar{\theta}(\lambda) = \bar{\theta}_1(\lambda) \cdot \bar{\theta}_2(\lambda)$$

on a $$\theta(t) = \int_0^t \theta_1(t-\tau) \cdot \theta_2(\tau)\, d\tau$$

d'où $$\theta_1(t) \xrightarrow{\text{transformé}} \bar{\theta}_1(\lambda) \qquad \theta_2(t) \xrightarrow{\text{transformé}} \bar{\theta}_2(\lambda)$$

En utilisant ce théorème aux expressions de formes

$$\frac{1}{\lambda} e^{-\varphi X} \qquad \frac{1}{\lambda+\alpha} e^{-\varphi X}$$

on obtient les résultats suivants :

$$\begin{cases} \bar{\theta}(\lambda) = \frac{1}{\lambda} e^{-\varphi X} \\ \theta(t) = \operatorname{erfc} \frac{X}{2\sqrt{At}} \end{cases} \qquad \begin{cases} \bar{\theta}(\lambda) = \frac{1}{\lambda+\alpha} e^{-\varphi X} \\ \theta(t) = \frac{X}{2\sqrt{\pi A}} e^{-\alpha t} \int_0^t \tau^{-3/2} e^{\alpha\tau - \frac{X^2}{4A\tau}} \cdot d\tau \end{cases}$$

En utilisant les transformations inverses indiquées à l'équation (69), la répartition verticale des températures dans les dalles d'épaisseur h et de caractéristique $A = c \cdot \omega / \lambda$ s'écrit:

$$\begin{aligned} \theta(t) = {} & T_0 + T_2 \sum_{M=0}^{\infty} \left(\operatorname{erfc} \frac{X}{2\sqrt{At}} - \operatorname{erfc} \frac{Z}{2\sqrt{At}} \right) - T_1 \sum_{M=0}^{\infty} \left(\operatorname{erfc} \frac{Y}{2\sqrt{At}} - \operatorname{erfc} \frac{U}{2\sqrt{At}} \right) \\ & - T_2 \sum_{M=0}^{\infty} e^{-\alpha_2 t} \left(\frac{X}{2\sqrt{At}} \int_0^t \tau^{-3/2} e^{\alpha_2\tau - \frac{X^2}{4A\tau}} \cdot d\tau - \frac{Z}{2\sqrt{At}} \int_0^t \tau^{-3/2} e^{\alpha_2\tau - \frac{Z^2}{4A\tau}} \cdot d\tau \right) \\ & + T_1 \sum_{M=0}^{\infty} e^{-\alpha_1 t} \left(\frac{Y}{2\sqrt{At}} \int_0^t \tau^{-3/2} e^{\alpha_1\tau - \frac{Y^2}{4A\tau}} d\tau - \frac{U}{2\sqrt{At}} \int_0^t \tau^{-3/2} e^{\alpha_1\tau - \frac{U^2}{4A\tau}} d\tau \right) \end{aligned} \tag{70}$$

d'où

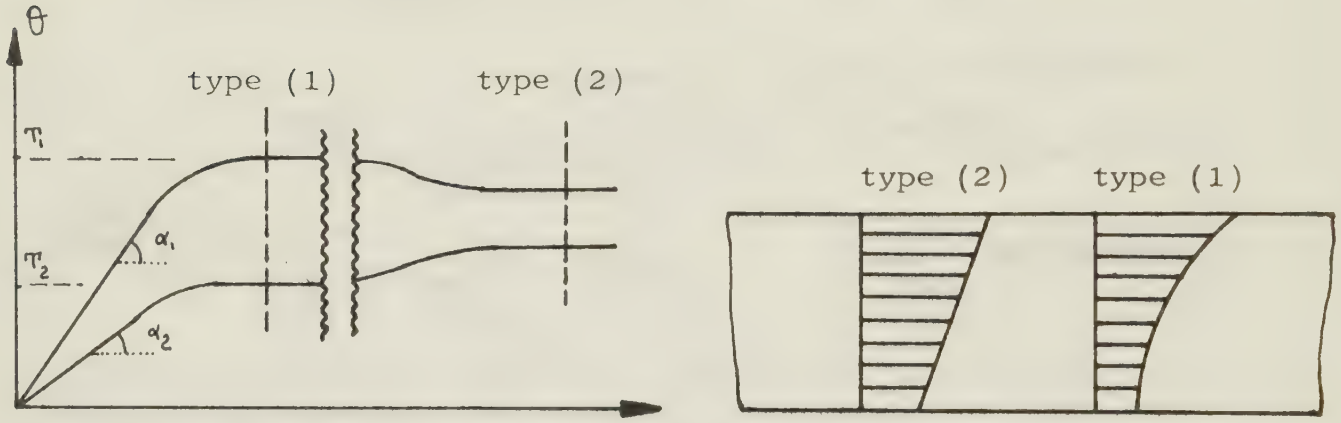
$$\operatorname{erfc} \frac{X}{2\sqrt{At}} = 1 - \operatorname{erf} \frac{X}{2\sqrt{At}} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{X/2\sqrt{At}} e^{-X^2/4At} \cdot d\left(X/2\sqrt{At}\right)$$

Comme les figures (80) à (86) le montrent, nous avons réalisé deux types de répartitions des températures dans les dalles :

Type 1 : Les répartitions des températures pendant le chauffage des dalles avec les tubes infrarouges où les conditions correspondent à celles expliquées page précédente.

Type 2 : Les répartitions des températures pendant le chargement statique qui sont effectuées juste après l'interruption du chauffage des dalles.

Nous montrons les deux types dans le schéma ci-dessous :



(schéma - 35)

Les figures (80) à (86) représentent les répartitions de températures des dalles (D-2), (D-3), (D-4), de type (1). Les répartitions de type -(2) sont également rassemblées dans les figures (80) à (8 6) qui sont presque linéaires ($\partial\theta/\partial z = cste$) . Cette répartition linéaire facilite notre calcul : d'une part, il est simple d'imposer une répartition linéaire au programme de calcul, d'autre part, elle s'annule à l'intervention des contraintes thermiques indépendantes du poids de la dalle.

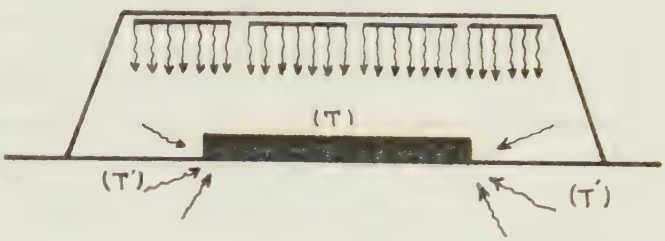
4-22 : Déplacements verticaux des dalles

Nous avons représenté les déplacements verticaux des dalles soumises aux charges statiques et thermiques dans les tableaux et figures (55) à (62).

Dans toutes les figures, la courbe W = O représente la position initiale des dalles (sans charge statique et thermique, uniquement le poids des dalles). Par contre, nous avons réalisé un déchargement statique.

Donc, comme nous l'avons indiqué précédemment, les courbes de décharges donnent les formes de dalles sous les gradients des températures connues. La concordance des résultats expérimentaux et théoriques aux dalles minces et moyennes est plus satisfaisante que celle des dalles épaisses. La raison principale de ces différences peut être dûe à la non uniformité du chauffage des dalles et de ses supports.

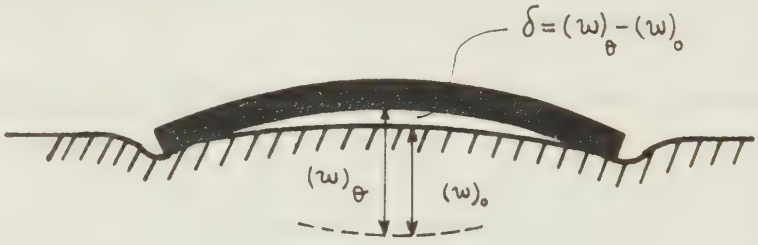
En effet, la différence importante entre la température du chauffage et l'air ambiant crée une dissipation de chaleur aux supports des dalles .



(schéma - 36)

4-23 - <u>décollages des dalles</u>

Les expériences montrent que les dalles de béton commencent à se décoller à partir de certains gradients de températures entre les surfaces et les interfaces de ces dernières. Les figures (63) à (71) prouvent facilement ce phénomène. On peut constater que la raison essentielle de décollage est l'inégalité des coefficients de conductibilité des dalles et de leurs supports.



(schéma - 37)

Le phénomène de décollement renforce les flèches des dalles comme le schéma 37 l'indique ci-dessus.

Si on appelle $(w)_0$ le déplacement au centre avec un gradient de température nul et $(w)_\theta$ la valeur de celui-ci avec un gradient élevé, la différence $\delta=(w)_\theta-(w)_0$ est proportionnelle au gradient de température appliqué.

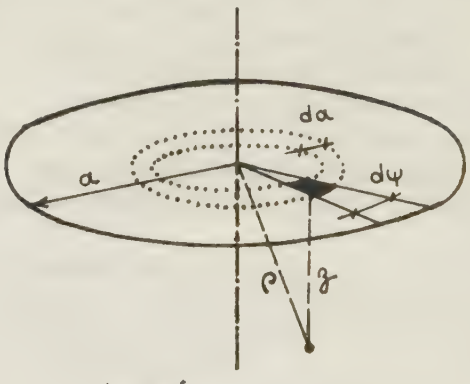
Le tableau ci-dessous, extrait des tableaux (63) à (71) donne les valeurs maximum des gradients des températures des dalles pour lesquelles $\delta \neq 0$

(D-2)	$(\partial\theta/\partial z)_{max.}$	$40\ ^{\circ}c/m$	$36\ ^{\circ}c/m$			$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) \# 40\ ^{\circ}c/m.$
	$\delta = (w)_{\theta} - (w)_{o}$	$-2x10^{-5}m.$	$-2x10^{-5}m.$			
(D-3)	$(\partial\theta/\partial z)_{max.}$	60	50	60		$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) \# 60\ ^{\circ}c/m.$
	$\delta = (w)_{\theta} - (w)_{o}$	-2	-2	-1		
(D-4)	$(\partial\theta/\partial z)_{max.}$	50	40	35	40	$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) \# 40\ ^{\circ}c/m.$
	$\delta = (w)_{\theta} - (w)_{o}$	-7	-1	-2	0	

C'est-à-dire que les décollages des (D-2), (D-3), (D-4) sont apparus à partir des gradients des températures respectivement 40, 60, 40 °c/m

4-3 - CALCUL DES MODULES DE YOUNG DES SUPPORTS DES DALLES *

En faisant l'hypothèse qu'un massif semi-indéfi,isotrope et parfaitement élastique, c'est-à-dire qu'il obéit à la loi de HOOKE, BOUSSINESQ a établi les relations donnant la contrainteet la flèche correspondante en un point quelconque du massif soumis à une charge ponctuelle.



(schéma - 38)

Si la charge verticale n'est plus ponctuelle et si elle est uniformément répartie par une membrane flexible de contour circulaire et si on suppose que la pression est constante sur toute la surface chargée, la déformation totale à la profondeur z est donnée par :

$$w_z = \iint \frac{(1+\nu)}{2\pi E \rho} \Psi . a \left[2(1-\nu) + \frac{z^2}{\rho^2}\right] da . d\psi$$

* la référence (11)

Lorsque la charge est appliquée au sol par une plaque circulaire rigide, l'enfoncement du disque est donné par

$$w = \frac{\pi}{2} \frac{p\,a}{E} (1-\nu^2) \qquad (71)$$

La courbe (σ, ϵ) obtenue lors d'un essai de chargement par plaque serait linéaire si le massif était parfaitement élastique. Mais un sol n'est jamais parfaitement élastique et la déformation totale peut se décomposer en :

- une déformation plastique instantanée (w_p)
- une déformation élastique instantanée (w_e)

D'une façon générale, on a $w_t = w_e + w_p$

Les tableaux et figures (106) à (109) montrent les déplacements élastiques des supports des dalles (D-1), (D-2) (D-3), (D-4). En appliquant la relation (71) le tableau ci-dessou donne les valeurs des modules de Young des supports des dalles (D-1), (D-2), (D-3)- (D-4)

Support	F (New.)	w_e (m)	$p.a$ pascal xm	$1-\nu^2$	$E = \frac{\pi}{2} \frac{p\,a(1-\nu^2)}{w}$ (pascal)	E_m (pascal)
(D-1)	$5,6 \times 10^4$	-38×10^{-5}	60×10^3	$(1-\overline{0,33}^2)$	230×10^6	250×10^6
	7,0	- 42	75	"	260	
(D-2)	5,6	- 26	60	"	320	350×10^6
	7,0	- 28	75	"	372	
(D-3)	5,6	- 26	60	"	320	350×10^6
	7,0	- 28	75	"	372	
(D-4)	5,6	- 25	60	"	332	350×10^6
	7,0	- 28	75	"	348	

Ainsi l'on voit que l'on peut considérer à la précision des expériences près que le module du sol est semblable pour les dalles(D-2) , (D-3), (D-4) alors qu'il diffère pour la Dalle (D-1). Ceci s'explique par un emplacement différent dans les zones d'expériences.

En outre, on a adopté un coefficient de Poisson de 0,33 car cette valeur est difficile à mesurer. On peut penser, toutefois, qu'elle est admissible si le sol n'est pas saturé d'eau.

4°- 4 - COMPARAISON DES RESULTATS THEORIQUES ET EXPERIMENTAUX

Pour étudier commodément la validité des modèles, on a choisi de procéder en comparant sur le plan statistique les résultats de mesures et de calculs aux mêmes points.

Les théories de FREMOND et BURMISTER ont permis les calculs des déplacements et déformations élastiques des dalles que nous avons essayées aux différentes conditions des chargements. Tous les résultats théoriques et expérimentaux sont comparés au moyen des méthodes statistiques.

4 - 41 - Notions statistiques *

4 - 41,1 : Régression linéaire

Ayant porté les points (X, Y) sur une feuille de papier millimètre, on peut tracer une droite passant entre les points Parmi les droites qu'il est ainsi possible de tracer, la meilleure est donnée par la méthode des moindres carrés. Il est évident que la droite de régression doit passer par le centre de la distribution observée

$$\bar{x} = \sum x_i / m \quad , \quad \bar{y} = \sum y_i / m$$

Les Y_i désignant les m valeurs observées de la variable dépendante. Elles correspondent aux valeurs X_i de la variable indépendante.

L'équation générale de la droite de régression s'écrit :

$$y' = \delta + \eta x \qquad \text{ou} \qquad y' - \bar{y} = \eta (x - \bar{x})$$

X désigne une valeur quelconque de la variable indépendante, et Y' la valeur ajustée correspondant à la variable dépendante, c'est-à-dire la valeur lue sur la droite de régression. est la pente de la droite au coefficient de régression

Le meilleur ajustement linéaire est obtenu en imposant que la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées Y_i et les valeurs ajustées correspondantes Y'_i, c'est-à-dire la quantité $\sum_i (y_i - y'_i)^2$ soit minimum. On trouve alors que le coefficient de régression s'écrit :

$$\eta = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \qquad \text{ou} \qquad \eta = \frac{\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{m}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{m}}$$

* la référence (12)

4°- 41,2 - Coefficient de corrélation

Sur m individus extraits d'une population statistique, on a procédé à la mesure de deux grandeurs X et Y. Désignons par (X_i, Y_i) les valeurs observées pour les caractères X, Y sur l'individu de rang i, le coefficient de corrélation est défini par :

$$r_0 = \frac{\sum_{i=1}^{m} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{m} (x_i - \bar{x})^2\right]\left[\sum_{i=1}^{m} (y_i - \bar{y})^2\right]}}$$

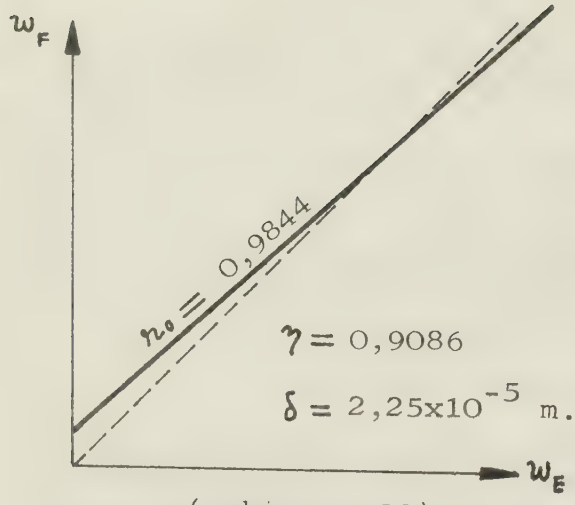
4° - 42 - Déplacements élastiques verticaux

4° - 42- 1 - Le tableau (110) contient les déplacements élastiques calculés à partir des théories de Frémond (w_F) théories de Burmister (w_B) et mesurés (w_E) pour les dalles moyennes selon les différents chargements, et aussi le coefficient de régression, de corrélation et de coordonnées d'origine des ensembles (w_E, w_F) et (w_E, w_B) , (w_F, w_B). Les coefficients de régression, de corrélation et de coordonnées d'origine sont calculés et l'on a présenté les résultats sur les schémas (39), (40), (41).

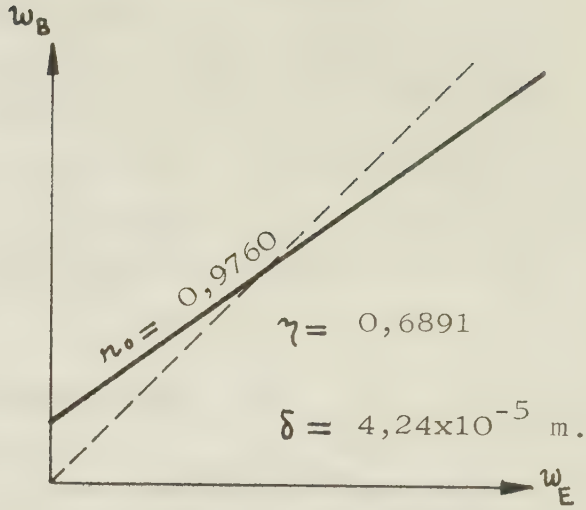
Les schémas montrent que les résultats obtenus avec la théorie de Frémond (dalle finie) sont plus satisfaisants que ceux obtenus par la théorie Burmister (dalle infinie). A noter que la concordance des résultats théoriques et expérimentaux aux dalles d'épaisseurs moyennes est remarquable.

Dans le schéma (39) les coefficients sont presque de l'ordre de 1,00. Le Schéma (41) représente la comparaison entre la théorie de Frémond et celle de Burmister. On constate que les valeurs obtenues par le modèle de Frémond sont plus grandes que celles obtenues par le modèle de Burmister; c'est ce que nous apercevons aux schémas (39) et (41).

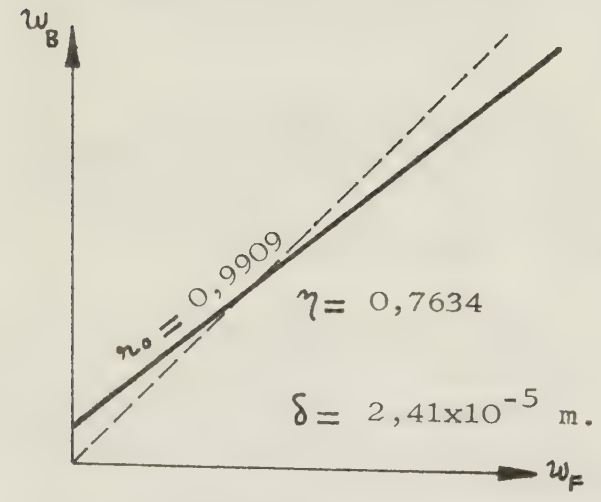
4° - 42 - 2 - Les déplacements élastiques verticaux (w_E w_F, w_B) de la dalle mince sont rassemblés dans le tableau (111). On y trouve, en outre, les coefficients de régression, de corrélation et la coordonnée d'origine des couples(w_E, w_F), (w_E, w_B) (w_F, w_B). Les schémas (42), (43) (44), représentent les comparaisons des différentes méthodes. Dans tous les cas, les coefficients de corrélation sont voisins de 1,00. Mais la non égalité à 1,00 des coefficients de régression montrent des divergences entre les résultats théoriques et expérimentaux qui viennent du décollement des dalles minces aux bords. Comme nous l'avons expliqué au chapitre I, les calculs ont été effectués sans décollement des dalles. Avec le nouveau programme de M. FREMOND (tenant compte du décollement), on peut améliorer les coefficients d'une manière satisfaisante, (voir le schéma 45).



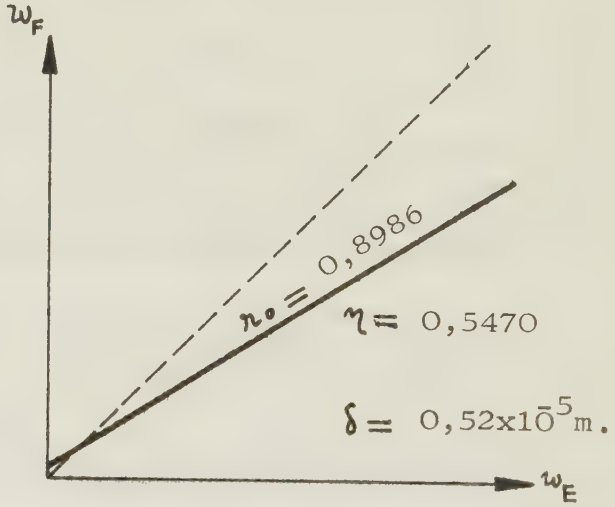
(schéma - 39)



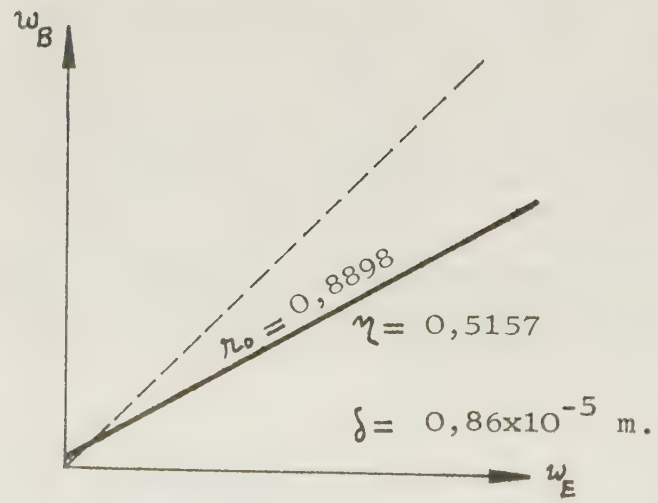
(schéma - 40)



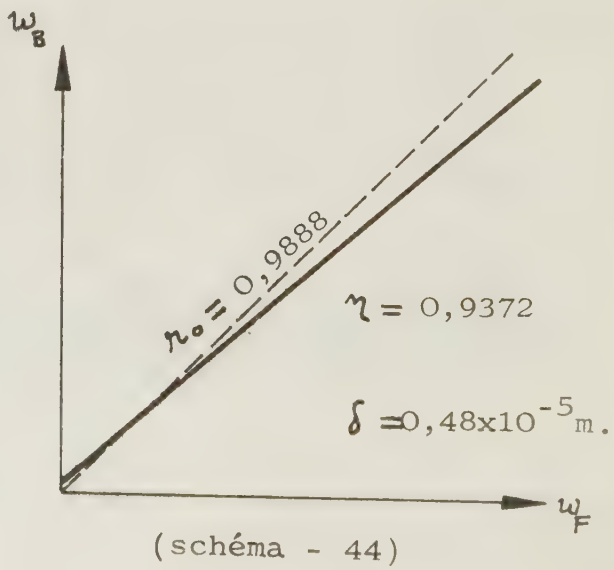
(schema - 41)



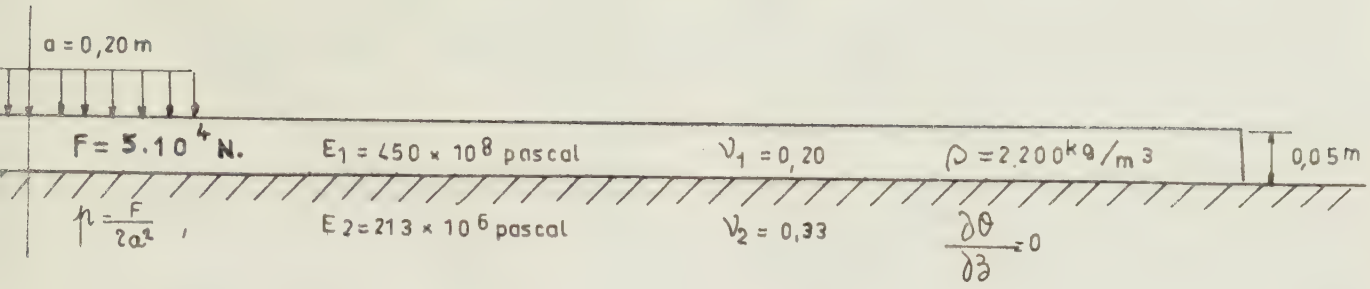
(schéma - 42)

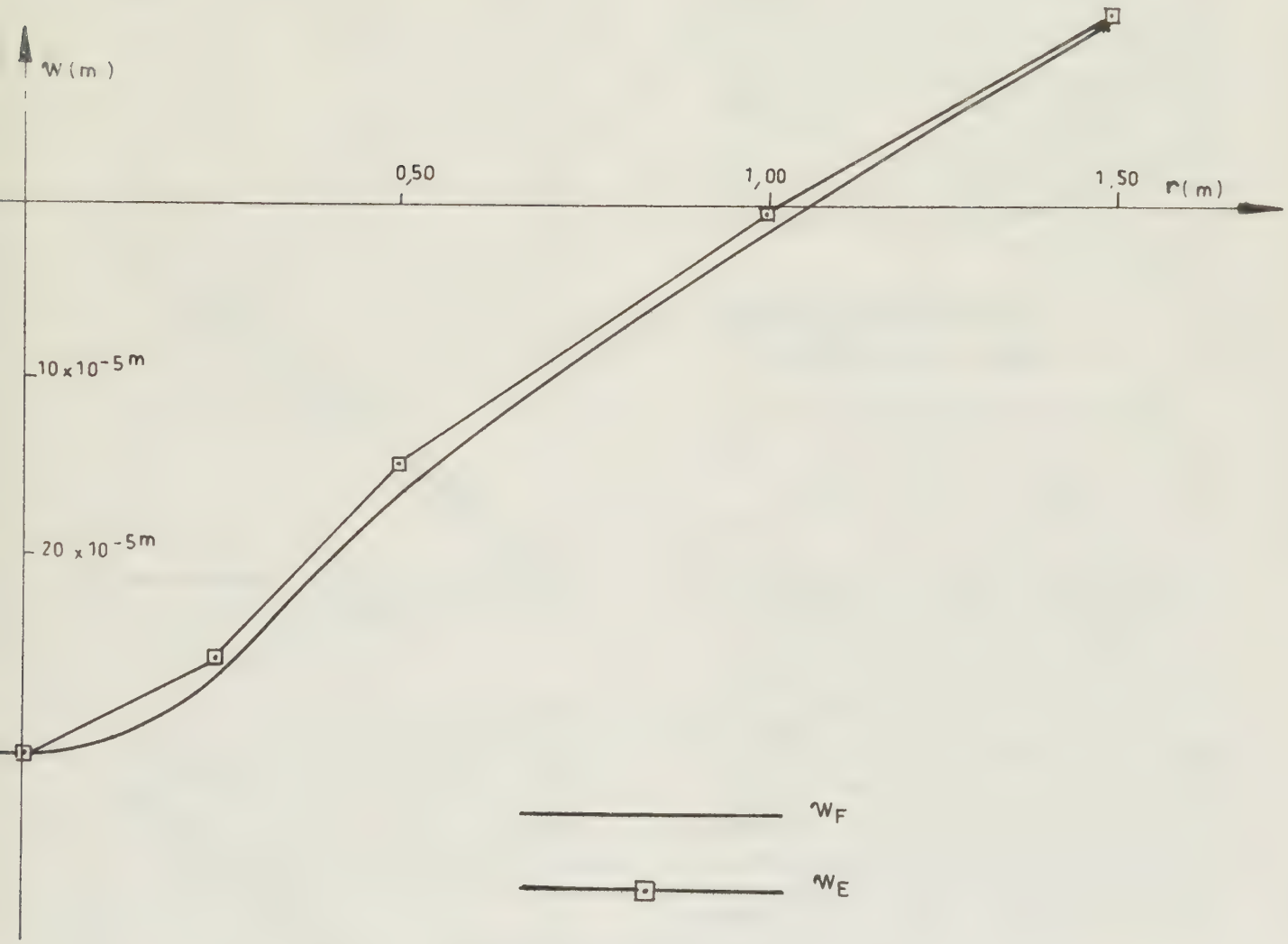


(schéma - 43)



(schéma - 44)

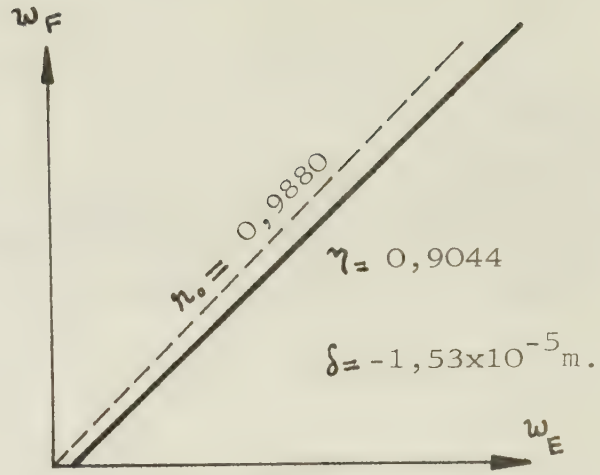




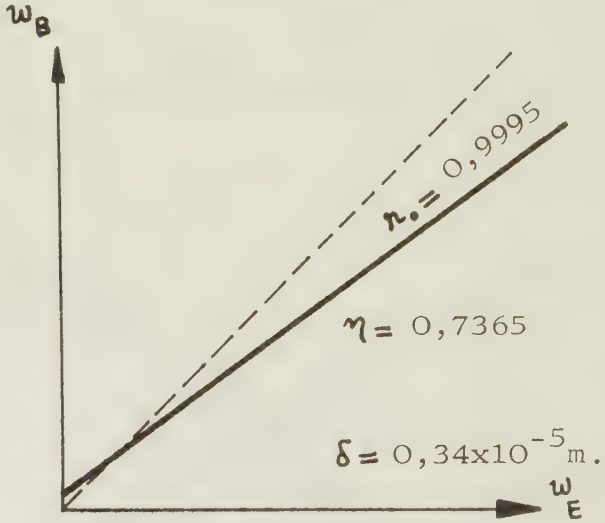
LES REPARTITIONS DES (W) DES DALLES MINCES EN CONSIDERANT LE PHENOMENE DECOLLEMENT _

SCHEMA - 45

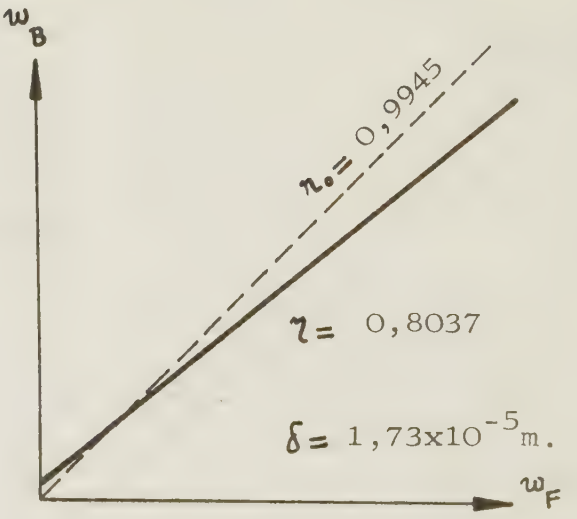
4°- 42-3. Nous avons regroupé les déplacements élastiques verticaux de la dalle épaisse dans le tableau (112). Les coefficients de régression, de corrélation et la coordonnée d'origine des (w_E, w_F), (w_E, w_B), (w_F, w_B) sont montrés dans le même tableau. Nous avons tracé les schémas (46) (47) et (48) au moyen des résultats statistiques obtenus. Nous voyons un accord satisfaisant entre les résultats de la théorie de Frémond et ceux de l'expérimentation. La raison essentielle du décalage , du coefficient de régression est l'approximation dans la détermination des modules d'élasticité des supports. Comme nous le constatons, cette approximation a une influence assez importante sur les résultats théoriques.



(schéma - 46)



(schéma - 47)



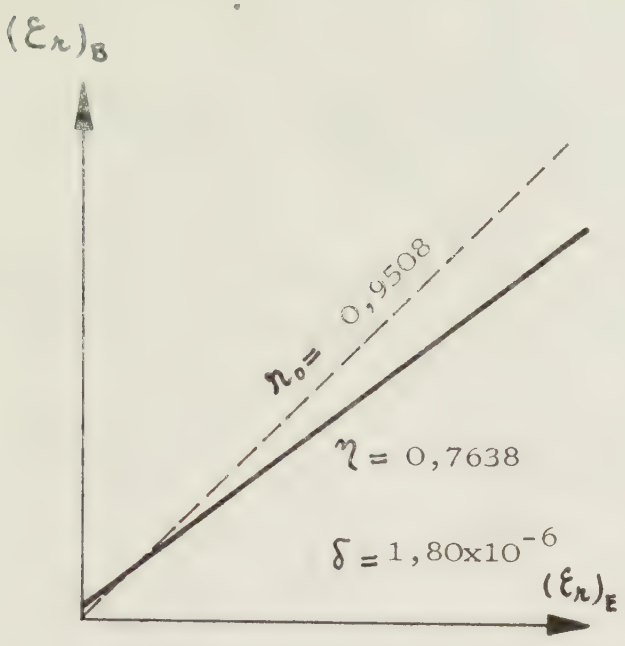
(schéma - 48)

4° - 43- Déformations Elastiques Horizontales

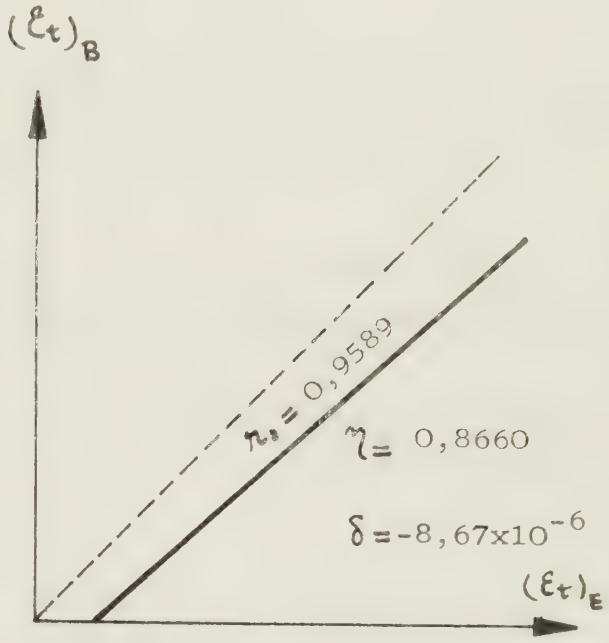
Nous avons représenté les déformations horizontales des dalles (D-1), (D-2),(D-3) pour différentes conditions des chargements dans le tableau (114). Les déformations radiales et tangentielles des expérimentations $(\varepsilon_r)_E$ et $(\varepsilon_t)_E$ sont comparées statistiquement avec celles calculées par la théorie de Burmister $(\varepsilon_r)_B$, $(\varepsilon_t)_B$ Comme nous le constatons dans les schémas (49) et (50), les différences entre $(\varepsilon_r)_B$ et $(\varepsilon_r)_E$ apparaissent pour les grandes déformations, et en général, pour une $(\varepsilon_r)_B$ donnée, on trouve que

$$(\varepsilon_r)_E > (\varepsilon_r)_B$$

Il y a presque un décalage entre $(\varepsilon)_B$ et $(\varepsilon)_E$ car les $(\varepsilon)_B$ sont calculées pour les dalles infinies, tandis que les $(\varepsilon)_E$ sont mesurées pour les dalles finies.



(schéma - 49)



(schéma - 50)

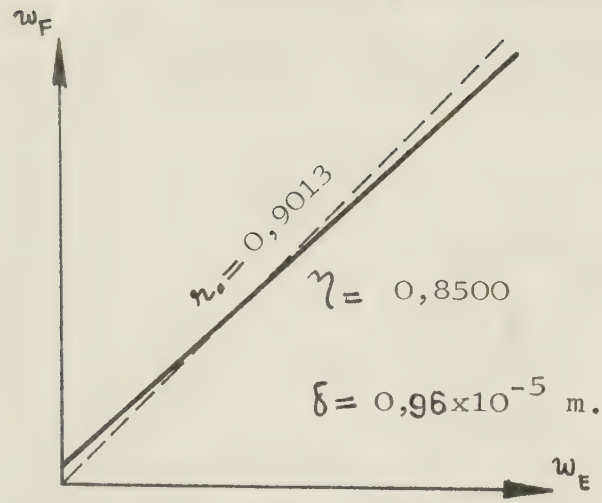
On n'a pas retenu la dalle (D-4) où les déformations au centre bas de la dalle peuvent être considérées comme fausses.

D'ailleurs, des essais sur les déformations en partie supérieure de la dalle ont montré que les résultats auraient dû être différents.

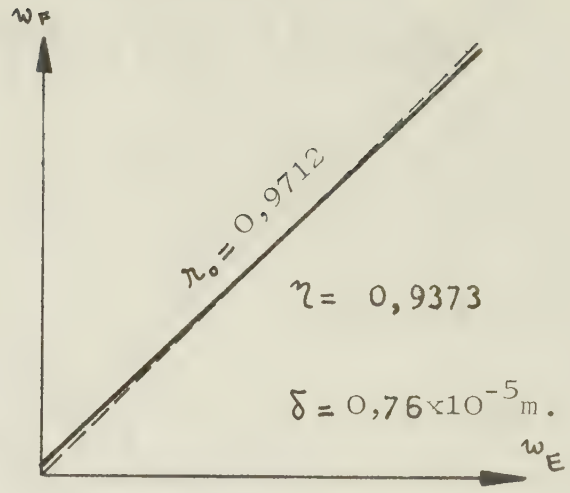
On peut expliquer ces mesures par la présence d'une mauvaise fixation de la jauge ou une microfissuration sous la déflexion localisée en centre de dalle. Voir la figure (79)

4° - 44 - Discussion sur la validité des théories

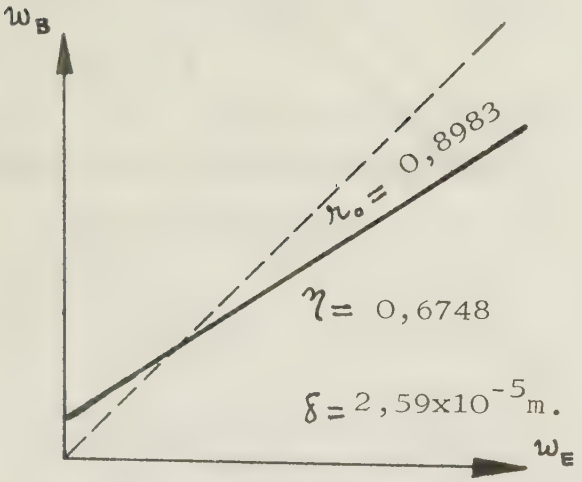
Pour discuter sur la validité des théories, nous avons calculé les coefficients de régression, de corrélation et de la coordonnée des (w_E, w_F), (w_E, w_B), (w_B, w_F) de l'ensemble des résultats des tableaux (110), (111), (112).



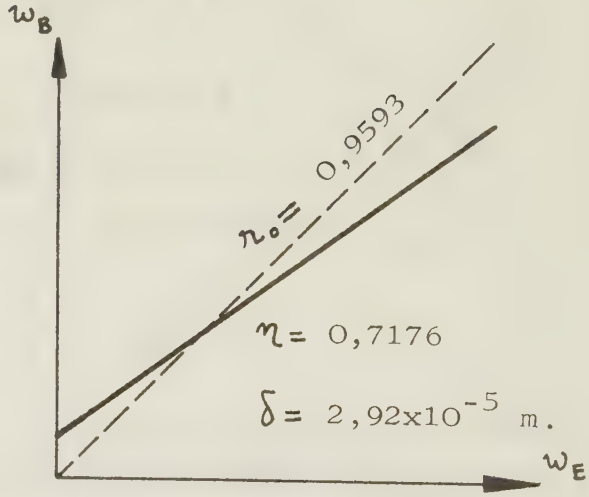
(schéma - 51)



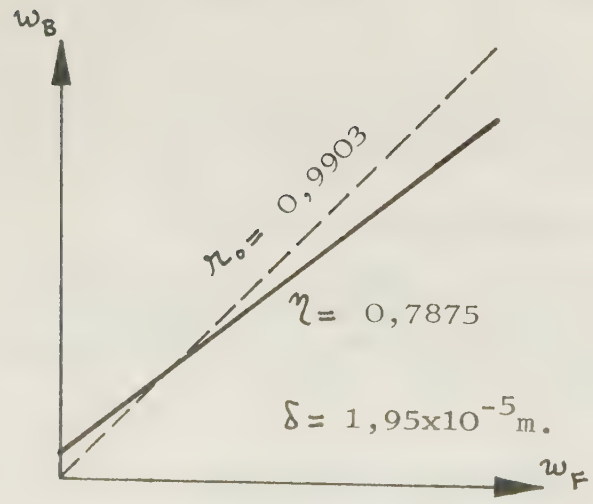
(schéma - 54)



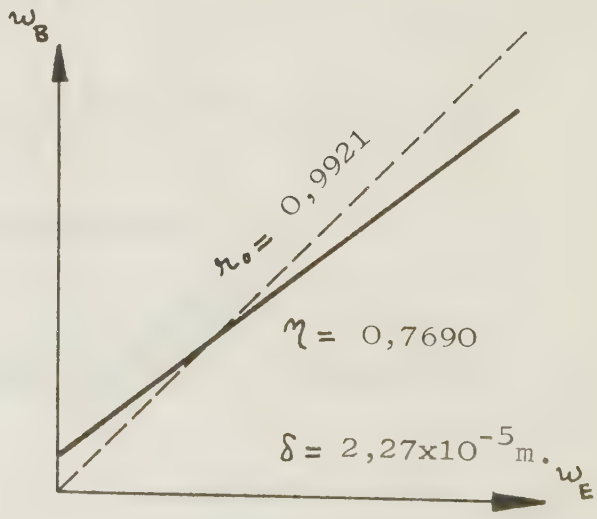
(schéma - 52)



(schéma - 55)



(schéma - 53)



(schéma - 56)

Les schémas (51),(52),(53) représentent les résultats obtenus.

Comme nous l'avons expliqué au chapitre I, les théories ne font pas intervenir le décollement de la dalle de son support. Donc, sans tenir compte du décollement de la dalle d'épaisseur mince, les résultats statistiques sont présentés aux schémas (54), (55), et (56).

Les résultats obtenus au tableau ci-dessous, comparés au cas idéal, montrent que les résultats sont très satisfaisants, surtout les résultats obtenus par la théorie de Frémond indiquent un accord remarquable avec la réalité :

THEORIES	COEFFICIENT de REGRESSION	COEFFICIENT de CORRELATION	COORDONNEE d'ORIGINE
IDEAL	1,0000	1,0000	$0,000 \times 10^{-5}$ m.
FREMOND	0,9373	0,9712	$0,7677 \times 10^{-5}$ m
BURMISTER	0,7176	0,9593	$2,9188 \times 10^{-5}$ m

On peut conclure que :

* Les résultats de la théorie de M. FREMOND sont en bon accord avec ceux de la théorie de BURMISTER en ce qui concerne les déflexions.

* Toutefois, la théorie de FREMOND est plus satisfaisante que celle de BURMISTER pour expliquer les expériences effectuées sur des dalles circulaires de rayon R = 1,50 m., dans le cas d'épaisseurs variables et pour des chargements centrés.

C O N C L U S I O N

L'étude du comportement des dalles circulaires d'épaisseurs différentes a permis de tirer les conclusions suivantes :

- D'une façon générale, les courbes expérimentales représentant les variations des déplacements et des déformations en fonction des rayons des dalles correspondent d'une manière satisfaisante avec les courbes théoriques.

- Les résultats expérimentaux montrent que, si la limite d'élasticité n'est pas atteinte, les déplacements et déformations sont fonction linéaires des charges appliquées.

- Sous des charges statiques assez grandes appliquées au centre des dalles minces, en l'absence de phénomènes thermiques les pourtours se soulèvent.

- Les gradients positifs de température entre les surfaces et les interfaces des dalles jouent un rôle important : En effet, les dalles commencent à se décoller à partir de certains seuils de gradients. Les déplacements mesurés sont plus importants que dans le cas de gradients nuls.

- Pour le cas des chargements excentrés, les déplacements et déformations mesurés sont très différents de ceux des chargements au centre. Néanmoins, ils atteignent la valeur maximale au centre d'application de la charge.

- Les déplacements mesurés sur différentes directions des dalles prouvent l'isotropie des dalles.

- Les calculs des modules d'élasticité des supports des dalles effectués par l'essai de plaque et dans l'hypothèse de BOUSSINESQ donnent des résultats relativement satisfaisants.

- Les modèles théoriques sont comparés aux modèles expérimentaux et le modèle de FREMOND donne les résultats plus satisfaisants que ceux de BURMISTER. Il est nécessaire d'indiquer que le modèle de BURMISTER est basé sur les dimensions infinies, ce qui explique les différences entre le modèle expérimental et celui-ci.

De plus, pour le modèle de FREMOND, nous avons travaillé dans les conditions d'absence de décollement, on peut, sans doute améliorer les résultats obtenus en utilisant le nouveau modèle de M. FREMOND en introduisant qu'il y a discontinuité des déplacements.

- Finalement, on peut calculer les contraintes et les déformations en n'importe quel point des dalles en utilisant le modèle de M. FREMOND.

B I B L I O G R A P H I E

(1) G. JEUFFROY - Conception et construction des chaussées Tome 1 et 2 - Eyrolles 1967

(2) TIMOSHENKOS - Théories des plaques et coques Dunod 1961

(3) D.M.BURMISTER - Theory of stress and displacements in layered systems and application to the design of airpart runaways - Highway research board - Nov. 1943

(4) S.E.M.A. - Comportements statiques des chaussées (problèmes à symétrie axiale, méthode de BURMISTER)- rapport n° 2 - 2ème série

(5) S.E.M.A. - Etude du comportement statique des pistes d'aérodromes - rapport n° 1 - Etude théorique

(6) FREMOND - Etude de solides élastiques reposant sur semi-espaces stratifiés - thèse présentée à l'Académie de Paris - 1971

(7) G. JEUFFROY - Les effets thermiques dans les chaussées en béton - Annales des Ponts et Chaussées n° 2

(8) P. MARIE - Contribution à l'étude des effets des des variations de température dans les chaussées en béton - Revue Générale des routes et aérodromes N° 287 (Déc.1955)

(9) G. DREUX - Guide pratique du béton - Société de diffusion des techniques du bâtiment et des T.P.

(10) CARSLOW - JAEGER - Conduction of heat in solids second édition - Oxford

(11) Essais de plaques - rappel de la théorie de BOUSSINESQ Bulletin de liaison des L.R. - spécial B - 1965

(12) Formation aux méthodes statistiques - Tome 2 - Institut de statistique de l'Université de Paris.

TABLEAUX

ET

FIGURES

* Dans les tableaux et figures du chapitre I - 3° - 1 (dalles de dimensions plans infinis, modèle de BURMISTER), on a retenu les conventions suivantes :

- les pressions sont considérées comme positives
- les déplacements vers bas sont considérés comme positifs
- $Ko = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4 \times 10^4 \text{ bars}}{10^4 \text{ bars}} = 4, \frac{8 \times 10^4}{10^4} = 8, \frac{16 \times 10^4}{10^4} = 16$

$$\frac{32 \times 10^4}{10^4} = 32, \quad \frac{64 \times 10^4}{10^4} = 64, \quad \frac{125 \times 10^4}{10^4} = 125$$

* Dans les tableaux et figures du chapitre I - 3° - 2 (dalles de dimensions finies, modèle de FREMOND), on a retenu les conventions suivantes :

- les pressions sont considérées comme négatives
- les déplacements vers bas sont considérés comme négatifs
- $Ko = \frac{350 \times 10^8 \text{ pascal}}{7000 \times 10^6 \text{ pascal}} = 5, \frac{350 \times 10^8}{1400 \times 10^6} = 25, \frac{350 \times 10^8}{700 \times 10^6} = 50,$

$$\frac{350 \times 10^8}{350 \times 10^6} = 100$$

* Dans les tableaux et les figures du chapitre III (modèle expérimental) les conventions de FREMOND ont été retenues.

* Pour la comparaison des résultats des ensembles des modèles on a choisi les conventions de FREMOND dans tous les cas.

TABLEAU 1

Variations des $(w_1/p.a \times E_1)$ en fonction de (h/a) aux surfaces des dalles infinies

$(w_1/p.a \times E_1)$ au centre							
E_1/E_2 \ h/a	0,125	0,250	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
4	6,81	6,52	5,62	4,87	4,31	3,61	3,21
8	13,37	12,49	10,04	8,17	6,91	5,41	4,58
16	26,34	23,75	17,65	13,68	11,19	8,34	6,80
32	51,88	44,30	30,45	22,70	18,09	13,02	10,33
64	101,26	80,49	51,53	37,25	29,15	20,47	15,93
125	189,73	139,65	84,32	59,60	46,05	31,80	24,45
250	354,20	241,00	138,59	96,29	73,71	50,30	38,35

TABLEAU 2

Variation des (ε_r/p) en fonction de (h/a) aux interfaces des dalles infinies

$(\varepsilon_r/p) \cdot 10^{+6}$ 1/bar au centre							
E_1/E_2 \ h/a	0,125	0,250	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
4	+ 5,90	- 4,41	-14,26	-14,90	- 13,16	- 9,12	- 6,26
8	+ 1,95	- 8,02	-13,85	-12,43	- 10,21	- 6,65	- 4,45
16	- 1,31	- 9,97	-11,69	- 9,29	- 7,19	- 4,43	- 2,90
32	- 3,84	-10,07	- 8,84	- 6,37	- 4,69	- 2,77	- 1,78
64	- 5,51	- 8,77	- 6,14	- 4,09	- 2,91	- 1,65	- 1,05
125	- 6,13	- 6,89	- 4,07	- 2,56	- 1,76	- 0,97	- 0,61
250	- 5,80	- 4,94	- 2,53	- 1,52	- 1,02	- 0,55	- 0,34

TABLEAU 3

Variations des (ε_z / p) en fonction de $(\frac{h}{a})$ aux interfaces des dalles infinies

$(\varepsilon_z / p) \times 10^{+6}$ 1/bar au centre							
E_1/E_2 \ h/a	0,125	0,250	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
4	16,84	23,51	26,20	22,46	18,24	11,79	7,87
8	9,11	15,48	16,52	13,32	10,44	6,52	4,29
16	6,14	11,48	10,92	8,11	6,11	3,68	2,39
32	5,22	8,91	7,06	4,94	3,59	2,09	1,34
64	4,99	6,78	4,53	2,97	2,09	1,18	0,75
125	4,73	4,98	2,87	1,79	1,23	0,68	0,42
250	4,16	3,44	1,75	1,04	0,70	0,38	0,23

TABLEAU 5

Variations des (σ_r / p) en fonction de (h/a) aux surfaces des dalles infinies

(σ_r / p) au centre							
E_1/E_2 \ h/a	0,125	0,250	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
4	1,23	1,38	1,51	1,36	1,20	1,00	0,91
8	1,72	2,15	2,23	1,85	1,53	1,18	1,01
16	2,55	3,50	3,20	2,44	1,92	1,37	1,12
32	4,15	5,67	4,40	3,12	2,34	1,57	1,24
64	7,34	8,77	5,78	3,84	2,77	1,77	1,35
125	12,86	12,65	7,24	4,56	3,19	1,97	1,46
250	21,87	17,47	8,84	5,32	3,64	2,17	1,58

TABLEAU 4

Répartition des (ε_r), (ε_t) aux interfaces des dalles infinies

(a = 0,15 m., F = 10 x 10^4 New.)

Distance au centre	h = 0,13 m.		h = 0,20 m.	
	ε_r	ε_t	ε_r	ε_t
0,00 m.	$-79,09 \times 10^{-6}$	$-79,09 \times 10^{-6}$	$-43,15 \times 10^{-6}$	$-43,15 \times 10^{-6}$
0,15	- 41,10	- 65,70	- 26,50	- 37,10
0,30	- 2,40	- 41,60	- 7,49	- 26,30
0,45	+ 8,71	- 26,40	- 0,44	- 18,70
0,60	12,05	- 17,09	+ 2,92	- 13,68
0,75	12,10	- 11,16	5,25	- 10,15
0,90	10,70	- 7,46	5,35	- 7,65
1,05	9,02	- 4,94	5,12	- 5,78
1,20	7,25	- 3,35	4,72	- 4,40
1,35	5,67	- 2,24	4,22	- 3,37
1,50	4,36	- 1,53	3,72	- 2,58
1,65	3,29	- 1,03	3,22	- 1,99
1,80	2,48	- 0,71	2,77	- 1,54
1,95	1,89	- 0,48	2,36	- 1,18
2,10	1,46	- 0,32	1,99	- 0,91
2,25	1,11	- 0,22	1,67	- 0,71
2,40	0,89	- 0,14	1,40	- 0,55

TABLEAU 6

Variations des $(w_1/p.a)$ en fonction de (h/a) aux surfaces des dalles finies

$(w_1/p.a)$ $m^2/New.$ au centre			
E_1/E_2 \ h/a	0,350	0,866	2,00
5	$2,49 \times 10^{-10}$	$1,73 \times 10^{-10}$	$1,16 \times 10^{-10}$
25	9,64	5,29	2,86
50	17,07	8,86	4,60
100	28,48	15,13	7,57
200	34,08	16,59	7,96

Variations des ($w/p.a$) en fonction (h/a) et les variations des (w) en fonction de a, à la surface des dalles fi nies.

TABLEAU 7

($w/p.a$) (m^2 / New.)			
h/a / r	0,350	0,866	2,00
0,00 m.	$34,08 \times 10^{-10}$	$16,58 \times 10^{-10}$	$7,96 \times 10^{-10}$
0,28	25,96	14,23	7,10
0,50	17,40	11,45	6,24
0,78	10,20	8,21	5,11
1,00	6,81	6,03	4,23
1,28	4,30	3,78	3,22
1,50	2,93	2,20	2,46

TABLEAU 8

w (m.)			
a / r	0,15m.	0,25m.	0,30m.
0,00m	$-35,2 \times 10^{-10}$	$-34,2 \times 10^{-10}$	$-32,7 \times 10^{-10}$
0,28	-30,2	-30,3	-29,2
0,50	-24,3	-24,6	-23,8
0,78	-17,4	-17,4	-17,3
1,00	-12,8	-13,0	-12,8
1,28	- 8,04	- 8,2	- 8,1
1,50	- 4,6	- 4,8	- 4,7

TABLEAU 9

Répartitions des (w) aux surfaces des dalles finies et infinies (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

h = 0,13 m.				h = 0,20 m.			
distance au centre	(w) de la dalle finie (m.)	distance au centre	(w) de la dalle infinie (m.)	distance au centre	(w) de la dalle finie (m.)	distance au centre	(w) de la dalle infinie (m.)
0,00m.	$-27,35 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-24,57 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-17,42 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-16,57 \times 10^{-5}$
0,055	-27,06	0,15	-23,00	0,55	-17,28	0,15	-15,83
0,166	-25,29	0,30	-19,88	0,166	-16,46	0,30	-14,47
0,277	-22,94	0,45	-16,82	0,277	-15,46	0,45	-13,10
0,388	-20,47	0,60	-14,08	0,388	-14,42	0,60	-11,75
0,499	-18,04	0,75	-11,76	0,499	-13,35	0,75	-10,48
0,611	-15,75	0,90	- 9,88	0,611	-12,26	0,90	- 9,33
0,722	-13,65	1,05	- 8,36	0,722	-11,20	1,05	- 8,28
0,833	-11,76	1,20	- 7,16	0,833	-10,16	1,20	- 7,97
0,944	-10,07	1,35	- 6,22	0,944	- 9,06	1,35	- 6,58
1,053	- 8,56	1,50	- 5,47	1,053	- 8,19	1,50	- 5,89
1,166	- 7,21	1,65	- 4,88	1,166	- 7,26	1,65	- 5,30
1,277	- 5,97	1,80	- 4,41	1,277	- 6,35	1,80	- 4,79
1,388	- 4,82	1,95	- 4,02	1,388	- 5,47	1,95	- 4,35
1,499	- 3,70	2,10	- 3,70	1,499	- 4,60	2,10	- 3,98

TABLEAU 10

Répartitions des (μ) de la dalle finie (h = 0,07m. , a = 0,20 m. F = 5 x 10^4 New.)

distance au centre	(μ) de la surface	(μ) de l'interface	(μ) du support
0,00 m.	0,000 x 10^{-5} m.	0,000 x 10^{-5} m.	0,000 x 10^{-5} m.
0,005	- 0,377	0,391	2,140
0,166	- 0,834	0,864	3,230
0,277	- 0,949	0,978	3,350
0,388	- 0,862	0,886	3,080
0,499	- 0,718	0,737	2,690
0,611	- 0,568	0,585	2,290
0,722	- 0,437	0,452	1,930
0,833	- 0,331	0,344	1,620
0,944	- 0,250	0,263	1,360
1,055	- 0,193	0,205	1,160
1,166	- 0,154	0,165	0,997
1,277	- 0,129	0,140	0,864
1,388	- 0,155	0,126	0,750
1,499	- 0,111	0,122	0,614

TABLEAU 11

Répartitions des (μ) de la dalle finie (h = 0,13m., a = 0,15m. F = 10 x 10^4 New.)

distance au centre	(μ) de la surface	(μ) de l'interface	(μ) du support
0,00 m.	0,000 x 10^{-5} m.	0,000 x 10^{-5} m.	0,000 x 10^{-5} m.
0,055	- 0,50	0,52	2,10
0,166	- 1,16	1,19	3,25
0,277	- 1,42	1,46	3,60
0,388	- 1,47	1,51	3,63
0,499	- 1,43	1,46	3,51
0,611	- 1,33	1,36	3,32
0,722	- 1,20	1,23	3.08
0,833	- 1,08	1,11	2,84
0,944	- 0,97	1,00	2,60
1,055	- 0,88	0,91	2,37
1,166	- 0,81	0,83	2,16
1,277	- 0,75	0,78	1,94
1,388	- 0,72	0,75	1,72
1,499	- 0,71	0,73	1,36

TABLEAU 12

Répartitions des (μ) de la dalle finie (h = 0,20m., a = 0,10 m., F = 10 x 10^4 New.)

distance au centre	(μ) de la surface	(μ) de l'interface	(μ) du support
0,00 m.	0,000 x 10^{-5} m.	0,000 x 10^{-5} m.	0,00 x 10^{-5} m.
0,055	- 0,36	0,33	1,14
0,166	- 0,77	0,77	1,77
0,277	- 0,95	0,98	2,02
0,388	- 1,04	1,07	2,13
0,499	- 1,09	1,12	2,16
0,611	- 1,11	1,12	2,15
0,722	- 1,09	1,11	2,11
0,833	- 1,07	1,09	2,05
0,944	- 1,05	1,07	1,98
1,055	- 1,02	1,04	1,89
1,166	- 0,99	1,01	1,79
1,277	- 0,97	0,99	1,68
1,388	- 0,97	0,97	1,56
1,499	- 0,94	0,96	1,38

TABLEAU 13

Variations des (σ_r/p) et σ_r en fonction de (h/a), aux surfaces des dalles finies (F = 10 x 10^4 New.)

(σ_r/p) au centre			
E_1/E_2 \ h/a	0,350	0,866	2,00
5	+1,43	+1,23	+0,71
25	+4,02	+2,18	+0,95
50	+5,84	+2,71	+1,09
100	+7,90	+3,31	+1,24
200	+11,14	+4,13	+1,42

TABLEAU 14

σ_r (pascal) au centre			
E_1/E_2 \ h/a	0,350	0,866	2,00
5	-11,44x10^5	-17,52x10^5	-22,71x10^5
25	-32,07	-30,08	-30,37
50	-46,49	-38,38	-34,75
100	-62,94	-46,92	-39,61
200	-88,68	-58,56	-45,53

TABLEAU 15

Répartitions des ($\bar{\sigma_r}$) des dalles finies et infinies (h = 0,07m., a = 0,20m. F = 5 x 10^4 New.)

r de la dalle finie	($\bar{\sigma_r}$) de la surface	($\bar{\sigma_r}$) de l'interface	r de la dalle infinie	($\bar{\sigma_r}$) de la surface
0,00m.	—— pascal	—— pascal	0,00m.	$-38,68 \times 10^5$ pascal
0,055	$-35,50 \times 10^5$	$24,53 \times 10^5$	0,20	- 13,77
0,166	-17,84	12,06	0,40	+6,12
0,277	- 2,78	1,83	0,60	5,69
0,388	+ 3,16	-2,43	0,80	3,26
0,499	5,02	-3,70	1,00	1,69
0,611	5,12	-3,73	1,20	0,57
0,722	4,45	-3,22	1,40	0,78
0,833	3,58	-2,58	1,60	0,27
0,944	2,65	-1,90	1,80	0,14
1,055	1,84	-1,32	2,00	0,13
1,166	1,22	-0,88	2,20	0,17
1,277	0,71	-0,52	2,40	0,13
1,388	0,28	-0,20	2,60	0,06
1,499	-0,10	+0,11	2,80	0,03

TABLEAU 16

Répartitions des ($\bar{\sigma_r}$) des dalles finies et infinies (h = 0,13m., a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

r de la dalle finie	($\bar{\sigma_r}$) de la surface	($\bar{\sigma_r}$) de l'interface	r de la dalle infinie	($\bar{\sigma_r}$) de la surface
0,00m.	—— pascal	—— pascal	0,00m.	$-51,67 \times 10^5$ pascal
0,055	$-50,30 \times 10^5$	$39,00 \times 10^5$	0,15	-29,57
0,166	-25,90	21,78	0,30	- 6,22
0,277	-10,76	8,97	0,45	+1,29
0,388	- 3,64	2,79	0,60	3,67
0,499	+ 0,50	-0,62	0,75	4,52
0,611	2,75	-0,24	0,90	3,39
0,722	3,64	-3,19	1,05	4,52
0,833	3,76	-3,21	1,20	3,11
0,944	3,34	-2,86	1,35	2,12
1,055	2,74	-2,35	1,50	1,98
1,166	2,04	-1,76	1,65	0,81
1,277	1,24	-1,09	1,80	0,47
1,388	0,43	-0,42	1,95	0,84
1,499	-0,15	-0,10	2,10	0,56

TABLEAU 17

Répartitions des (σ_r) des dalles finies et infinies (h = 0,20m., a = 0,10m., F = 10 x 10^4 New.)

r de la dalle finie	(σ_r) de la surface	(σ_r) de l'interface	r de la dalle infinie	(σ_r) de la surface
0,00m.	—— pascal	—— pascal	0,00m.	$-44,25 \times 10^5$ pascal
0,055	$-39,99 \times 10^5$	$22,80 \times 10^5$	0,10	-25,47
0,166	-15,16	13,80	0,20	-10,50
0,277	- 9,12	7,58	0,30	- 6,36
0,388	- 5,62	4,36	0,40	- 3,50
0,499	- 3,24	2,47	0,50	- 1,43
0,611	- 1,77	1,33	0,60	- 1,26
0,722	- 0,84	0,60	0,70	+ 2,28
0,833	- 0,24	0,13	0,80	1,46
0,944	+ 0,11	-0,13	0,90	1,13
1,055	0,25	-0,24	1,00	2,12
1,166	0,24	-0,22	1,10	0,85
1,277	0,12	-0,12	1,20	1,24
1,388	-0,04	0,03	1,30	2,06
1,499	-0,23	0,04	1,40	1,84

TABLEAU 18

Variations des (σ_z) en fonction de (h/a) aux surfaces des dalles finies (F = 10 x 10^4 New.)

σ_z (pascal) du centre			
E_1/E_2 \ h/a	0,350	0,866	2,00
5	$- 8,78 \times 10^5$	$-14,96 \times 10^5$	$-30,29 \times 10^5$
25	-10,64	-15,72	-30,83
50	-11,93	-16,11	-31,22
100	-13,40	-16,56	-31,47
200	-16,21	-17,15	-31,78

TABLEAU 19

Répartitions des (σ_z) des dalles finies et infinies
(h = 0,07m., a = 0,20m., F = 5 x 10^4 New.)

n de la dalle finie	(σ_z) de la surface	(σ_z) de l'interface	n de la dalle infinie	(σ_z) de la surface
0,00m.	——— pascal	——— pascal	0,00m.	-3,94x10^5 pascal
0,055	-7,09x10^5	-0,79x10^5	0,20	-1,95
0,166	-4,80	-0,98	0,40	+0,06
0,277	-0,50	-0,33	0,60	0,02
0,388	-0,16	-0,30	0,80	-0,05
0,499	-0,02	-0,22	1,00	-0,08
0,611	+0,04	-0,14	1,20	-0,22
0,722	0,05	-0,07	1,40	+0,31
0,833	0,05	-0,06	1,60	0,02
0,944	0,04	-0,03	1,80	-0,08
1,055	0,02	-0,01	2,00	+0,21
1,166	0,00	-0,05	2,20	-0,14
1,277	0,00	-0,04	2,40	+0,01
1,388	0,00	-0,02	2,60	-0,01
1,499	0,00	0,12	2,80	-0,26

TABLEAU 20

Répartitions des (σ_z) des dalles finies et infinies
(h = 0,13m., a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

n de la dalle finie	(σ_z) de la surface	(σ_z) de l'interface	n de la dalle infinie	(σ_z) de la surface
0,00m.	——— pascal	——— pascal	0,00m.	-14,15x10 pascal
0,055	-16,74x10^5	-0,81x10^5	0,15	- 7,07
0,166	- 3,73	-0,88	0,30	- 0,08
0,277	- 0,91	-0,74	0,45	+ 0,05
0,388	- 0,58	-0,63	0,60	- 0,23
0,499	- 0,40	-0,52	0,75	- 0,37
0,611	- 0,28	-0,50	0,90	+ 0,78
0,722	- 0,18	-0,35	1,05	- 0,29
0,833	- 0,04	-0,26	1,20	+ 0,14
0,944	- 0,04	-0,19	1,35	- 0,59
1,055	- 0,02	-0,16	1,50	- 0,57
1,166	- 0,03	-0,15	1,65	+ 0,42
1,277	- 0,04	-0,15	1,80	- 0,64
1,388	- 0,05	-0,04	1,95	+ 0,22
1,499	- 0,05	+0,48	2,10	+ 0,57

TABLEAU 21

Répartitions des (σ_z) des dalles finies et infinies
(h = 0,20m., a = 0,10m., F = 10 x 10^4 New.)

n de la dalle finie	(σ_z) de la surface	(σ_z) de l'interface	n de la dalle infinie	(σ_z) de la surface
0,00m.	—— pascal	—— pascal	0,00m.	-31,39x10^5pascal
0,055	-31,47x10^5	-1,36x10^5	0,10	-15,92
0,166	-1,20	-0,57	0,20	- 0,20
0,277	-0,59	-0,39	0,30	+ 0,10
0,388	-0,41	-0,37	0,40	- 0,11
0,499	-0,29	-0,34	0,50	- 0,14
0,611	-0,22	-0,25	0,60	- 1,21
0,722	-0,17	-0,23	0,70	+ 1,43
0,833	-0,13	-0,22	0,80	+ 0,06
0,944	-0,11	-0,18	0,90	- 0,62
1,055	-0,09	-0,18	1,00	+ 0,16
1,166	-0,08	-0,12	1,10	- 1,15
1,277	-0,08	-0,12	1,20	- 0.79
1,388	-0,08	-0,03	1,30	+ 0,09
1,499	-0,08	-0,03	1,40	- 0,03

TABLEAU 22

Variations des $(w_1/p.a)$ en fonction de (R/a) à la surface et aux centres des dalles finies.

les gradients de température (oc/m.)	h/a = 0,350 p.a = $15,92 \times 10^4$ N./m.		h/a = 0,866 p.a = $21,23 \times 10^4$ N./m.		h/a = 2,00 p.a = $31,84 \times 10^4$ N./m	
	$w_1/p.a$ de la charge (m^2/New.)	$w_1/p.a$ de la décharge (m^2/New.)	$w_1/p.a$ de la charge (m^2/New.)	$w_1/p.a$ de la décharge (m^2/New.)	$w_1/p.a$ de la charge (m^2/New.)	$w_1/p.a$ de la décharge (m^2/New.)
$\partial\theta/\partial z$ = 0	$28,16 \times 10^{-10}$	$1,58 \times 10^{-10}$	$14,85 \times 10^{-10}$	$1,27 \times 10^{-10}$	$7,26 \times 10^{-10}$	$1,04 \times 10^{-10}$
$\partial\theta/\partial z$ = 50	27,56	0,96	12,47	-1,08	2,23	- 3,79
$\partial\theta/\partial z$ = 100	26,96	0,36	9,94	-3,62	-2,75	- 8,97
$\partial\theta/\partial z$ = 150	27,64	1,44	7,48	-6,09	-7,69	-13,91

TABLEAU 23

Variations des (w) en fonction de $(\partial\theta/\partial z)$ à la surface et aux centres des dalles finies.

les gradients de température (oc/m.)	h/a = 0,350 p = $7,96 \times 10^5$ pascal		h/a = 0,866 p = $14,15 \times 10^5$ pascal		h/a = 2,00 p = $31,84 \times 10^5$ pascal	
	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)
$\partial\theta/\partial z$ = 0	$-44,86 \times 10^{-5}$	$-2,54 \times 10^{-5}$	$-31,53 \times 10^{-5}$	$- 2,71 \times 10^{-5}$	$-23,12 \times 10^{-5}$	$- 3,32 \times 10^{-5}$
$\partial\theta/\partial z$ = 50	-43,88	-1,46	-26,49	+ 2,33	- 7,13	+12,66
$\partial\theta/\partial z$ = 100	-42,94	-0,61	-21,12	+ 7,70	+ 8,77	28,57
$\partial\theta/\partial z$ = 150	-44,02	-2,28	-15,89	+12,94	24,51	44,32

TABLEAU 24

Répartitions des (w) aux surfaces des dalles finies (h = 0,07m., a = 0,20m., F = 5×10^4 New.)

distance au centre	$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 50$ °C/m.			$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 150$ °C/m.		
	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-21,94 \times 10^{-5}$	$-0,78 \times 10^{-5}$	$-21,166 \times 10^{-5}$	$-22,01 \times 10^{-5}$	$-1,19 \times 10^{-5}$	$-20,81 \times 10^{-5}$
0,055	-21 57	-0,77	-20,799	-21,62	-1,18	-20,44
0,166	-19,37	-0,75	-18,621	-19,43	-1,14	-18,29
0,277	-16,19	-0,71	-15,484	-16,29	-1,07	-15,22
0,388	-13,14	-0,65	-12,483	-13,29	-0,98	-12,31
0,499	-10,51	-0,58	- 9,931	-10,73	-0,86	- 9,87
0,611	- 8,38	-0,49	- 7,886	- 8,67	-0,74	- 7,94
0,722	- 6,71	-0,39	- 6,310	- 7,08	-0,62	- 6,45
0,833	- 5,42	-0,30	- 5,119	- 5,90	-0,56	- 5,34
0,944	- 4,46	-0,23	- 4,231	- 5,12	-0,61	- 4,50
1,055	- 3,76	-0,19	- 3,565	- 4,72	-0,85	- 3,86
1,166	- 3,29	-0,24	- 3,056	- 4,76	-1,40	- 3,35
1,277	- 3,08	-0,43	- 2,654	- 5,34	-2,39	- 2,94
1,388	- 3,16	-0,84	- 2,317	- 6,62	-4,05	- 2,56
1,499	- 3,58	-1,57	- 2,011	- 8,87	-6,66	- 2,21

TABLEAU 25

Répartitions des (w) aux surfaces des dalles finies (h = 0,13m., a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

distance au centre	$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 50 °c/m.			$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 150 °c/m.		
	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	-26,49 x 10^{-5}	+2,33 x 10^{-5}	-28,825 x 10^{-5}	-15,89 x 10^{-5}	+12,94 x 10^{-5}	-28,836 x 10^{-5}
0,055	-26,17	2,32	-28,502	-15,59	+12,92	-28,513
0,166	-24,26	2,33	-26,595	-13,71	+12,89	-26,607
0,277	-21,72	2,34	-24,070	-11,25	+12,83	-24,081
0,388	-19,11	2,34	-21,458	- 8,76	12,71	-21,469
0,499	-16,58	2,32	-18,914	- 6,43	12,49	-18,924
0,611	-14,27	2,27	-16,545	- 4,42	12,14	-16,555
0,722	-12,25	2,15	-14,406	- 2,84	11,58	-14,416
0,833	-10,57	1,93	-12,502	- 1,82	10,69	-12,511
0,944	- 9,25	1,56	-10,816	- 1,48	9,34	-10,824
1,055	- 8,33	0,98	- 9,317	- 1,96	7,36	- 9,324
1,166	- 7,84	0,13	- 7,970	- 3,43	4,55	- 7,976
1,277	- 7,81	-1,07	- 6,74	- 6,08	0,66	- 6,744
1,388	- 8,31	-2,72	- 5,58	-11,13	- 4,54	- 5,589
1,499	- 9,36	-4,89	- 4,47	-15,79	-11,32	- 4,473

TABLEAU 26

Répartitions des (w) aux surfaces des dalles finies (h = 0,20m., a = 0,10m., F = 10 x 10^4 New.)

distance au centre	$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 50 °c/m.			$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 150 °c/m.		
	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	- 7,12 x 10^{-5}	+12,66 x 10^{-5}	-19,797 x 10^{-5}	+24,51 x 10^{-5}	+44,32 x 10^{-5}	-19,803 x 10^{-5}
0,055	- 6,88	+12,63	-19,524	24,68	44,21	-19,530
0,166	- 5,70	12,48	-18,188	25,54	43,73	-18,194
0,277	- 4,85	12,18	-17,036	25,73	42,77	-17,042
0,388	- 4,11	11,72	-15,835	25,46	41,30	-15,840
0,499	- 3,53	11,07	-14,604	24,65	39,26	-14,608
0,611	- 3,15	10,22	-13,378	23,20	36,58	-13,382
0,722	- 3,04	9,13	-12,178	20,99	33,17	-12,181
0,833	- 3,25	7,76	-11,015	17,88	28,90	-11,016
0,944	- 3,82	6,07	- 9,894	13,75	23,64	- 9,895
1,055	- 4,81	4,00	- 8,818	8,44	17,26	- 8,817
1,166	- 6,26	1,51	- 7,782	1,80	9,58	- 7,781
1,277	- 8,24	- 1,46	- 6,783	- 6,34	0,43	- 6,779
1,388	-10,80	- 4,99	- 5,809	-16,16	-10,35	- 5,805
1,499	-13,97	- 9,12	- 4,854	-27,80	-22,95	- 4,847

TABLEAU 27

Variations des (σ_n/p) en fonction de (h/a) aux surfaces et aux centres des dalles finies.

les gradients de température (°C/m.)	h/a = 0,350 $p = 7,96 \times 10^5$ pascal		h/a = 0,866 $p = 14,15 \times 10^5$ pascal		h/a = 2,00 $p = 31,84 \times 10^5$ pascal	
	(σ_n/p) de la charge	(σ_n/p) de la décharge	(σ_n/p) de la charge	(σ_n/p) de la décharge	(σ_n/p) de la charge	(σ_n/p) de la décharge
$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 0$	8,90	0,04	+3,55	0,04	1,25	+0,01
$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 50$	4,98	- 3,86	1,41	-2,08	-0,42	-1,65
$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 100$	1,06	- 7,78	-0,71	-4,22	-2,10	-3,33
$\frac{\partial\theta}{\partial z} = 150$	-2,92	-11,68	-2,85	-6,36	-3,78	-5,01

TABLEAU 28

Variations des (σ_n) en fonction de $(\partial\theta/\partial z)$ aux surfaces et aux centres des dalles finies.

les gradients de température (°C/m.)	h/a = 0,350 $p = 7,96 \times 10^5$ pascal		h/a = 0,866 $p = 14,15 \times 10^5$ pascal		h/a = 2,00 $p = 31,84 \times 10^5$ pascal	
	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)
$\partial\theta/\partial z = 0$	$-71,00 \times 10^5$	$- 0,44 \times 10^5$	$-50,31 \times 10^5$	$-0,65 \times 10^5$	$-39,99 \times 10^5$	$-0,63 \times 10^5$
$\partial\theta/\partial z = 50$	-39,76	+30,80	-20,09	29,56	+13,46	52,82
$\partial\theta/\partial z = 100$	- 8,52	62,04	10,16	59,82	66,95	106,31
$\partial\theta/\partial z = 150$	+23,36	93,08	40,44	90,11	120,39	159,76

TABLEAU 29

Variations des (σ_z) en fonction de ($\partial\theta/\partial z$) aux surfaces et aux interfaces des dalles finies.

Les gradients de température (°C/m.)	h/a = 0,350 p = 7,96 x 10^5 pascal		h/a = 0,866 p = 14,15 x 10^5 pascal		h/a = 2,00 p = 31,84 x 10^5 pascal	
	(σ_z) de la charge (pascal)	(σ_z) de la décharge (pascal)	(σ_z) de la charge (pascal)	(σ_z) de la décharge (pascal)	(σ_z) de la charge (pascal)	(σ_z) de la décharge (pascal)
$\partial\theta/\partial z$ = 0	-14,18x10^5	- 0,04x10^5	- 16,74x10^5	- 0,04x10^5	-31,47x10^5	- 0,05x10^5
$\partial\theta/\partial z$ = 50	33,74	47,90	29,72	46,44	39,50	70,96
$\partial\theta/\partial z$ = 100	81,70	95,86	76,19	92,95	110,54	141,93
$\partial\theta/\partial z$ = 150	122,38	138,54	138,54	139,42	181,51	212,91

TABLEAU 30

Répartitions des (σ_r) aux dalles finies sous les charges statiques et thermiques (h = 0,07m., a = 0,20m., F = 5×10^4 New.)

distance au centre	$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 50 oc/m.				$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 150 oc/m.			
	interface		surface		interface		surface	
	(σ_r) de la charge (pascal)	(σ_r) de la décharge (pascal)	(σ_r) de la charge (pascal)	(σ_r) de la décharge (pascal)	(σ_r) de la charge (pascal)	(σ_r) de la décharge (pascal)	(σ_r) de la charge (pascal)	(σ_r) de la décharge (pascal)
0,00m.								
0,055	$35,28 \times 10^5$	$10,90 \times 10^5$	$-19,88 \times 10^5$	$+15,40 \times 10^5$	$+53,97 \times 10^5$	$+33,83 \times 10^5$	$+11,68 \times 10^5$	$+46,56 \times 10^5$
0,166	22,92	10,97	- 2,03	15,65	43,89	34,15	30,14	47,22
0,277	12,69	10,96	+12,99	15,64	35,42	34,11	44,98	47,22
0,388	8,43	10,95	18,94	15,66	31,91	34,13	50,98	47,24
0,499	7,17	10,93	20,79	15,68	30,90	33,97	52,77	47,50
0,611	7,11	10,88	20,95	15,77	30,82	33,80	52,96	47,79
0,722	7,53	10,78	20,41	15,92	30,99	33,48	52,76	48,35
0,833	8,01	10,62	19,75	16,14	31,11	32,99	52,63	49,17
0,944	8,42	10,37	19,18	16,48	31,01	32,29	52,86	50,30
1,055	8,60	9,97	18,95	17,04	30,53	31,31	53,79	51,94
1,166	8,42	9,36	19,20	17,91	29,56	30,05	55,08	53,89
1,277	7,99	8,56	19,83	19,04	27,97	28,17	57,65	56,97
1,388	7,38	7,63	20,69	20,35	25,73	25,77	60,97	60,71
1,499	6,53	6,54	21,21	21,19	22,46	22,45	63,07	63,07

TABLEAU 31

Répartitions des (σ_n) aux dalles finies sous les charges statiques et thermiques (h = 0,13m., a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

distance au centre	$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 50 $^{oc}/_{m.}$				$\frac{\partial\theta}{\partial z}$ = 150 $^{oc}/_{m.}$			
	interface		surface		interface		surface	
	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)	(σ_n) de la charge (pascal)	(σ_n) de la décharge (pascal)
0,00m.								
0,055	57,55x10^5	19,09x10^5	-20,09x10^5	+29,56x10^5	+94,58x10^5	56,14x10^5	40,44x10^5	90,91x10^5
0,166	40,48	19,20	+ 4,64	29,98	77,83	56,56	65,86	91,20
0,277	27,62	19,02	19,97	30,15	64,69	56,08	81,42	91,60
0,388	21,16	18,70	27,35	30,50	57,73	55,26	89,35	92,60
0,499	17,41	18,30	31,88	30,98	53,33	54,21	94,67	93,77
0,611	15,00	17,70	34,79	31,72	49,86	52,56	98,87	95,80
0,722	13,52	16,88	36,62	32,71	46,84	50,20	102,59	98,69
0,833	12,42	15,82	37,93	33,96	43,67	47,07	106,33	102,36
0,944	11,52	14,56	39,00	35,45	40,28	43,31	110,36	106,82
1,055	10,56	13,06	40,15	37,24	36,36	38,85	115,43	112,12
1,166	9,44	11,31	41,50	39,31	31,82	33,69	120,43	118,25
1,277	8,30	9,48	42,89	41,51	27,09	28,26	126,20	124,84
1,388	7,33	7,81	44,18	43,68	22,85	23,31	131,69	131,19
1,499	6,29	6,20	44,21	44,32	18,65	18,58	132,96	133,07

TABLEAU 41

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D -1) sous les charges statiques (α = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le W vers le bas
0,00m.	$-30,94 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-35,22 \times 10^{-5}$	0 00m.	$-35,00 \times 10^{-5}$	
0,15	-29,26	0,055	-34,89			
0,30	-25,84	0,166	-32,93	0,15	-34,00	
0,45	-22,34	0,277	-30,22	0,30	-30,40	
0,60	-19,09	0,388	-27,29			
0,75	-16,25	0,499	-24,31	0,45	-23,30	
0,90	-13,85	0,611	-21,43	0,60	-20,00	
1,05	-11,85	0,722	-18,72			
1,20	-10,22	0,833	-16,20			
1,35	- 8,90	0,944	-13,89			
1,50	- 7,84	0,999	-12,89	1,00	-11,00	
1,65	- 6,98	1,055	-11,78			
1,80	- 6,28	1,166	- 9,84			
1,95	- 5,71	1,277	- 8,04			
2,10	- 5,24	1,288	- 6,33			
2,35	- 4,85	1,499	- 4,68	1,50	- 2,50	

TABLEAU 42

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 1) sous les charges statiques (a = 0,20m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le W vers le bas
0,00m.	$-30,12 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-36,44 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-34,00 \times 10^{-5}$	
0,20	-27,86	0,055	-36,16			
0,40	-23,38	0,166	-34,52	0,20	-34,00	
0,60	-19,06	0,277	-31,81			
0,80	-15,39	0,388	-28,79	0,40	-27, 8	
1,00	-12,48	0,499	-25,69	0,50	-22, 5	
1,20	-10,23	0,611	-22,68	0,60	-19,80	
1,40	- 8,53	0,722	-19,83			
1,60	- 7,25	0,833	-17,18	0,80	-15,00	
1,80	- 6,29	0,944	-14,74			
2,00	- 5,55	0,999	-13,61	1,00	-11,50	
2,20	- 4,97	1,055	-12,51			
2,40	- 4,52	1,166	-10,46			
2,60	- 4,15	1,277	- 8,55			
2,80	- 3,84	1,388	- 6,75			
3,00	- 3,58	1,499	- 5,01	1,50	- 2,50	

TABLEAU 43

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-1) sous les charges statiques (a = 0,25m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le W vers le bas
0,00m.	$-29,30 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-34,19 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-33,00 \times 10^{-5}$	
0,25	-26,47	0,055	-34,10			
0,50	-21,06	0,166	-32,73			
0,75	-16,22	0,277	-30,34	0,25	-32,00	
1,00	-12,48	0,388	-27,54	0,40	-25,50	
1,25	- 9,77	0,499	-24,62	0,50	-23,00	
1,50	- 7,86	0,611	-21,76			
1,75	- 6,51	0,722	-19,05	0,75	-16,00	
2,00	- 5,55	0,833	-16,52			
2,25	- 4,85	0,944	-14,19			
2,50	- 4,32	0,999	-13,09			
2,75	- 3,92	1,055	-12,05			
3,00	- 3,58	1,166	-10,09	1,20	- 8,00	
3,25	- 3,31	1,277	- 8,24			
3,50	- 3,07	1,388	- 6,52			
3,75	- 2,87	1,499	- 4,84	1,50	- 3,00	

TABLEAU 44

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 1) sous les charges statiques (a = 0,30m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	-28,49x10^{-5}	0,00m.	-32,70x10^{-5}	0,00m.	-32,00x10^{-5}	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le W vers le bas
0,30	-25,14	0,055	-32,50			
0,60	-18,95	0,166	-31,32			
0,90	-13,95	0,277	-29,23	0,30	-30,00	
1,20	-10,26	0,388	-26,60			
1,50	- 7,87	0,499	-23,84	0,50	-24,00	
1,80	- 6,31	0,611	-21,11	0,60	-20,00	
2,10	- 5,25	0,722	-18,50			
2,40	- 4,52	0,833	-16,05			
2,70	- 3,99	0,944	-13,81	0,90	-12,80	
3,00	- 3,58	0,999	-12,75	1,00	-11,00	
3,30	- 3,26	1,055	-11,74			
3,60	- 2,99	1,164	- 9,83	1,20	- 8,00	
3,90	- 2,76	1,277	- 8,05			
4,10	- 2,56	1,388	- 6,37			
4,40	- 2,39	1,499	- 4,74	1,50	- 4,00	

TABLEAU 45

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-2) sous les charges statiques (a = 0,20m., F = 5×10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-20,23 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-21,16 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-34,00 \times 10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le W vers le bas
0,20	-16,74	0,055	-20,79			
0,40	-11,04	0,166	-18,61			
0,60	- 7,28	0,277	-15,48	0,28	-26,00	
0,80	- 5,40	0,388	-12,48			
1,00	- 3,95	0,499	- 9,92	0,50	-15,00	
1,20	- 3,23	0,611	- 7,88			
1,40	- 2,76	0,722	- 6,30			
1,60	- 2,41	0,833	- 5,11			
1,80	- 2,14	0,944	- 4,23			
2,00	- 1,93	0,999	- 3,87	1,00	- 0,50	
2,20	- 1,76	1,055	- 3,56			
2,40	- 1,61	1,166	- 3,05			
2,60	- 1,48	1,277	- 2,65			
2,80	- 1,38	1,388	- 2,31			
3,00	- 1,28	1,499	- 2,01	1,50	+12,00	

TABLEAU 46

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 2) sous les charges statiques (a = 0,15m., F = 5 x10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	-21,60x10^{-5}	0,00m.	-21,33x10^{-5}	0,00m.	-35,90x10^{-5}	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,15	-18,81	0,055	-20,87			
0,30	-13,81	0,166	-18,21			
0,45	- 9,89	0,277	-14,92	0,28	-26,30	
0,60	- 7,24	0,388	-11,92			
0,75	- 5,54	0,499	- 9,43	0,50	-15,10	
0,90	- 4,45	0,611	- 7,46			
1,05	- 3,73	0,722	- 5,95			
1,20	- 3,23	0,833	- 4,81			
1,35	- 2,86	0,944	- 3,97	1,00	- 0,50	
1,50	- 2,57	0,999	- 3,63			
1,75	- 2,33	1,055	- 3,34			
1,90	- 2,14	1,166	- 2,86			
2,05	- 1,98	1,277	- 2,48			
2,20	- 1,83	1,388	- 2,16			
2,35	- 1,72	1,499	- 1,88	1,50	+12,00	

TABLEAU 47

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 2) sous les charges statiques (a = 0,25m., F = 5 x 10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-18,89 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-19,45 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-32,00 \times 10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,25	-14,91	0,055	-19,16			
0,50	- 8,95	0,166	-17,44			
0,75	- 5,61	0,277	-14,78	0,28	-25,00	
1,00	- 3,97	0,388	-12,03			
1,25	- 3,11	0,499	- 9,62	0,50	-15,00	
1,50	- 2,57	0,611	- 7,66			
1,75	- 2,20	0,722	- 6,13			
2,00	- 1,93	0,833	- 4,97			
2,25	- 1,72	0,944	- 4,10			
2,50	- 1,54	0,999	- 3,75	1,00	- 0,50	
2,75	- 1,41	1,055	- 3,45			
3,00	- 1,30	1,166	- 2,95			
3,25	- 1,20	1,277	- 2,55			
3,50	- 1,10	1,388	- 2,22			
3,75	- 1,04	1,499	- 1,92	1,50	+10,00	

TABLEAU 48

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 3) sous les charges statiques (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.).

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-25,39x10^{-5}$	0,00m.	$-28,80x10^{-5}$	0,00m.	$-34,00x10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,15	-23,67	0,055	-28,60			
0,30	-20,33	0,166	-26,59			
0,45	-17,07	0,277	-24,09	0,28	$-28,5\ x10^{-5}$	
0,60	-14,19	0,388	-21,45			
0,75	-11,79	0,499	-18,91	0,50	-21,00	
0,90	- 9,85	0,611	-16,54			
1,05	- 8,31	0,722	-14,40			
1,20	- 7,11	0,833	-12,50			
1,35	- 6,17	0,944	-10,81			
1,50	- 5,43	0,999	-10,04	1,00	-10,50	
1,65	- 4,85	1,055	- 9,31			
1,80	- 4,39	1,166	- 7,97			
1,95	- 4,00	1,277	- 6,74			
2,10	- 3,69	1,388	- 5,58			
2,25	- 3,43	1,499	- 4,47	1,50	- 1,00	

TABLEAU 49

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 3) sous les charges statiques (a = 0,20m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,00m.	$-24,55x10^{-5}$	0,00m.	$-30,31x10^{-5}$	0,00m.	$-33,00x10^{-5}$	
0,20	-22,31	0,055	-30,05			
0,40	-18,03	0,166	-28,48			
0,60	-14,17	0,277	-25,94	0,28	-26,60	
0,80	-11,10	0,388	-23,22			
1,00	- 8,80	0,499	-20,52	0,50	-21,60	
1,20	- 7,13	0,611	-17,99			
1,40	- 5,91	0,722	-15,69			
1,60	- 5,03	0,833	-13,63			
1,80	- 4,39	0,944	-11,80			
2,00	- 3,90	0,999	-10,96	1,00	-12,00	
2,20	- 3,52	1,055	-10,17			
2,40	- 3,21	1,166	- 8,70			
2,60	- 2,97	1,277	- 7,36			
2,80	- 2,75	1,388	- 6,11			
3,00	- 2,58	1,499	- 4,89	1,50	- 4,00	

TABLEAU 50

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-3) sous les charges statiques (a = 0,25m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-23,71 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-28,44 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-31,00 \times 10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,25	-20,97	0,055	-28,22			
0,50	-15,94	0,166	-26,94			
0,75	-11,78	0,277	-24,73	0,28	-27,00	
1,00	- 8,81	0,388	-22,21			
1,25	- 6,79	0,499	-19,68	0,50	-21,00	
1,50	- 5,45	0,611	-17,28			
1,75	- 4,53	0,722	-15,09			
2,00	- 3,90	0,833	-13,12			
2,25	- 3,44	0,944	-11,37			
2,50	- 3,08	0,999	-10,56	1,00	-12,00	
2,75	- 2,80	1,055	- 9,81			
3,00	- 2,57	1,166	- 8,39			
3,25	- 2,37	1,277	- 7,11			
3,50	- 2,20	1,388	- 5,89			
3,75	- 2,03	1,499	- 4,73	1,50	- 4,00	

TABLEAU 51

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 4) sous les charges statiques (α = 0,10m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-17,77 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-19,70 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-23,00 \times 10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,10	$-17,03 \times 10^{-5}$	0,055	-19,51			
0,20	-15,89	0,166	-18,18			
0,30	-14,92	0,277	-17,03	0,28	-20,00	
0,40	-13,93	0,388	-15,82			
0,50	-12,94	0,499	-14,59	0,50	-16,00	
0,60	-11,99	0,611	-13,37			
0,70	-11,06	0,722	-12,17			
0,80	-10,20	0,833	-11,01			
0,90	- 9,41	0,944	- 9,89			
1,00	- 8,67	0,999	- 9,34	1,00	- 11,00	
1,10	- 8,01	1,055	- 8,81			
1,20	- 7,39	1,166	- 7,78			
1,30	- 6,82	1,277	- 6,78			
1,40	- 6,31	1,388	- 5,81			
1,50	- 5,86	1,499	- 4,85	1,50	- 8,00	

TABLEAU 52

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 4) sous les charges statiques (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-17,16 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-18,07 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-23,00 \times 10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,15	-16,35	0,055	-17,92			
0,30	-14,86	0,166	-17,01			
0,45	-13,40	0,277	-15,93	0,28	-20,50	
0,60	-11,96	0,388	-14,82			
0,75	-10,49	0,499	-13,67	0,50	-17,00	
0,90	- 9,41	0,611	-12,53			
1,05	- 8,32	0,722	-11,42			
1,20	- 7,38	0,833	-10,32			
1,35	- 6,57	0,944	- 9,27			
1,50	- 5,86	0,999	- 8,76	1,00	-11,80	
1,65	- 5,27	1,055	- 8,26			
1,80	- 4,71	1,166	- 7,29			
1,95	- 4,29	1,277	- 6,36			
2,10	- 3,91	1,388	- 5,45			
2,25	- 3,63	1,499	- 4,55	1,50	- 7,00	

TABLEAU 53

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D -4) sous les charges statiques (a = 0,20m., F = 10×10^4 New.)

modèle du Burmister		modèle du Frémond		modèle d'Expérimental		observation
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	
0,00m.	$-16,73 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-18,72 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-23,00 \times 10^{-5}$	le signe (-) dans le modèle de Burmister désigne le (W) vers le bas
0,20	-15,75	0,055	-18,60			
0,40	-13,83	0,166	-17,95			
0,60	-11,93	0,277	-16,83	0,28	-19,80	
0,80	-10,19	0,388	-15,68			
1,00	- 8,66	0,499	-14,43	0,50	-16,50	
1,20	- 7,39	0,611	-13,29			
1,40	- 6,32	0,722	-12,11			
1,60	- 5,46	0,833	-10,96			
1,80	- 4,76	0,944	- 9,86			
2,00	- 4,19	0,999	- 9,31	1,00	-12,00	
2,20	- 3,74	1,055	- 8,78			
2,40	- 3,36	1,166	- 7,76			
2,60	- 3,06	1,277	- 6,77			
2,80	- 2,79	1,388	- 5,81			
3,00	- 2,61	1,499	- 4,86	1,50	- 7,60	

TABLEAU 54

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-1) sous les charges statiques et excentrées.

l'encentricité = 0,25m. a = 0,15m. F = 10 x 10^4 New.		l'encentricité = 0,25m. a = 0,20m. F = 10 x 10^4 New.		l'encentricité = 0,25m. a = 0,25m. F = 10 x 10^4 New.		l'encentricité = 0,50m. a = 0,30m. F = 10 x 10^4 New.	
distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) élastique (m.)
0,00m.	-34,5 x10^{-5}	0,00m.	-32,00x10^{-5}	0,00m.	-30,00x10^{-5}	0,00m.	-24,00 x 10^{-5}
0,25	-34,50	0,25	-34,00	0,25	-32,00	0,20	-25,00
0,40	-32,00	0,45	-28,50	0,50	-27,00	0,50	-29,00
1,00	-22,00	1,00	-22,00	1,00	-22,50	1,00	-27,50
1,50	-22,00	1,50	-21,00	1,50	-22,00	1,50	-27,00
-0,50	-14,00	-0,50	-13,00	-0,50	-13,00	-0,50	- 5,00
-1,00	- 4,00	-1,00	- 4,00	-1,00	- 5,00	-1,00	+ 1,00
-1,50	+ 2,00	-1,50	+ 2;00	-1,50	+ 2,00	-1,50	+ 8,00

TABLEAU 55

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 2) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,20m., F = 5 x 10^{-4} New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta/\partial z$ = 50 °C/m.				modèle d'Expérimental, $\partial\theta/\partial z$ = 57 °C/m.			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-21,94\times10^{-5}$	$-0,78\times10^{-5}$	$-21,16\times10^{-5}$	0,00m.	$-35,00\times10^{-5}$	$+4,00\times10^{-5}$	$-39,00\times10^{-5}$
0,055	-21,57	- 0,77	-20,79				
0,166	-19,37	- 0,75	-18,62				
0,277	-16,19	- 0,71	-15,48	0,28	-25,00	+ 2,00	-27,00
0,388	-13,13	- 0,65	-12,48				
0,499	-10,51	- 0,58	- 9,93	0,50	-13,00	+ 0,00	-13,00
0,611	- 8,34	- 0,49	- 7,88				
0,722	- 6,70	- 0,39	- 6,31				
0,833	- 5,42	- 0,30	- 5,11				
0,944	- 4,45	- 0,23	- 4,23				
0,999	- 4,07	- 0,20	- 3,86	1,00	- 5,00	+ 0,00	- 5,00
1,055	- 3,75	- 0,19	- 3,56				
1,166	- 3,29	- 0,24	- 3,05				
1,277	- 3,08	- 0,43	- 2,65				
1,388	- 3,16	- 0,84	- 2,31				
1,499	- 3,58	- 1,57	- 2,01	1,50	-14,00	-25,00	+11,00

TABLEAU 56

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-2) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,20m., F = 5 x 10^4 New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta / \partial z$ = 75 °C/m.				modèle d'Expérimental, $\partial\theta / \partial z$ = 85 °C/m.			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-22,11 \times 10^{-5}$	$- 1,29 \times 10^{-5}$	$-20,81 \times 10^{-5}$	0,00m.	$-33,00 \times 10^{-5}$	+10,00	$-43,00 \times 10^{-5}$
0,055	-21,73	- 1,29	-20,43				
0,166	-19,55	- 1,26	-18,28				
0,277	-16,44	- 1,22	-15,21	0,28	-20,00	+ 8,00	-28,00
0,388	-13,48	- 1,17	-12,30				
0,499	-10,98	- 1,11	- 9,86	0,50	-10,00	+ 5,00	-15,00
0,611	- 8,98	- 1,04	- 7,93				
0,722	- 7,43	- 0,97	- 6,45				
0,833	- 6,27	- 0,93	- 5,34				
0,944	- 5,44	- 0,94	- 4,50				
0,999	- 5,14	- 0,97	- 4,16	1,00	-15,50	-15,00	- 0,50
1,055	- 4,90	- 1,04	- 3,86				
1,166	- 4,64	- 1,28	- 3,35				
1,277	- 4,68	- 1,74	- 2,94				
1,388	- 5,11	- 2,54	- 2,57				
1,499	- 6,01	- 3,79	- 2,21	1,50	-34,00	-41,00	+ 7,00

TABLEAU 57

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-2) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,20m., F = 5 x 10^4 New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta/\partial z$ = 100 °C/m.				modèle d'Expérimental, $\partial\theta/\partial z$ = 100 °C/m.			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-21,47\times10^{-5}$	$-0,31\times10^{-5}$	$-21,16\times10^{-5}$	0,00m.	$-31,00\times10^{-5}$	$+19,00\times10^{-5}$	$-50,00\times10^{-5}$
0,055	-21,10	-0,30	-20,80				
0,166	-18,89	-0,26	-18,62				
0,277	-15,69	-0,21	-15,48	0,28	-17,00	+15,00	-32,00
0,388	-12,61	-0,12	-12,48				
0,499	- 9,95	-0,02	- 9,93	0,50	-11,00	+ 7,00	-18,00
0,611	- 7,77	+0,11	- 7,88				
0,722	- 6,04	+0,26	- 6,31				
0,833	- 4,71	+0,41	- 5,12				
0,944	- 3,71	+0,52	- 4,23				
0,999	- 3,33	+0,54	- 3,86	1,00	-17,00	-20,00	+ 3,00
1,055	- 3,02	+0,54	- 3,57				
1,166	- 2,66	+0,40	- 3,05				
1,277	- 2,69	-0,04	- 2,64				
1,388	- 3,24	-0,93	- 2,31				
1,499	- 4,47	-2,46	- 2,01	1,50	-43,00	-51,00	+ 8,00

TABLEAU 58

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 3) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta/\partial z$ = 100 °C/m.				modèle d'Expérimental, $\partial\theta/\partial z$ = 100 °C m.			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-26,49\times10^{-5}$	$+ 2,33\times10^{-5}$	$-28,82\times10^{-5}$	0,00m.	$-34,00\times10^{-5}$	$+ 3,00\times10^{-5}$	$-37,00\times10^{-5}$
0,055	-26,17	+ 2,32	-28,50				
0,166	-24,26	+ 2,33	-26,59				
0,277	-21,72	+ 2,34	-24,07	0,28	-28,00	+ 2,00	-30,00
0,388	-19,11	+ 2,34	-21,45				
0,499	-16,58	+ 2,32	-18,91	0,50	-25,00	- 2,00	-23,00
0,611	-14,27	+ 2,27	-16,54				
0,722	-12,25	+ 2,15	-14,40				
0,833	-10,57	+ 1,93	-12,50				
0,944	- 9,25	+ 1,55	-10,81				
0,999	- 8,74	+ 1,30	-10,04	1,00	-15,00	- 6,00	- 9,00
1,055	- 8,33	+ 0,98	- 9,34				
1,166	- 7,84	+ 0,13	- 7,97				
1,277	- 7,81	- 1,07	- 6,74				
1,388	- 8,30	- 2,72	- 5,58				
1,499	- 9,36	- 4,89	- 4,47	1,50	-28,50	-28,00	- 0,50

TABLEAU 59

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-3) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Frémond. $\partial\theta/\partial z = 100\ ^{\circ}C/m.$				modèle d'Expérimental, $\partial\theta/\partial z = 100\ ^{\circ}C/m.$			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-21,12\times10^{-5}$	$+ 7,70\times10^{-5}$	$-28,83\times10^{-5}$	0,00m.	$-25,00\times10^{-5}$	$+21,00\times10^{-5}$	$-46,00\times10^{-5}$
0,055	-20,81	7,69	-28,50				
0,166	-18,91	7,68	-26,60				
0,277	-16,41	7,65	-24,07	0,28	-22,00	+16,00	-38,00
0,388	-13,86	7,59	-21,46				
0,499	-11,43	7,48	-18,91	0,50	-18,00	+ 9,00	-27,00
0,611	- 9,26	7,28	-16,55				
0,722	- 7,46	6,94	-14,41				
0,833	- 6,11	6,38	-12,50				
0,944	- 5,29	5,52	-10,82				
0,999	- 5,09	4,94	-10,04	1,00	-21,00	-11,00	-10,00
1,055	- 5,07	4,24	- 9,32				
1,166	- 5,55	2,41	- 7,97				
1,277	- 6,87	- 0,13	- 6,74				
1,388	- 9,15	- 3,56	- 5,58				
1,499	-12,51	- 8,04	- 4,47	1,50	-40,50	-40,00	- 0,50

TABLEAU 60

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 3) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta/\partial z$ = 150 °C/m.				modèle d'Expérimental $\partial\theta/\partial z$ = 107 °C/m.			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	$-15,89\times10^{-5}$	$+12,94\times10^{-5}$	$-28,83\times10^{-5}$	0,00m.	$-24,00\times10^{-5}$	$+23,00\times10^{-5}$	$-47,00\times10^{-5}$
0,055	-15,55	12,91	-28,51				
0,166	-13,70	12,89	-26,60				
0,277	-11,24	12,83	-24,08	0,28	-20,00	+17,00	-37,00
0,388	- 8,76	12,70	-21,46				
0,499	- 6,43	12,49	-18,92	0,50	-15,00	+14,00	-29,00
0,611	- 4,41	12,13	-16,55				
0,722	- 2,84	11,57	-14,41				
0,833	- 1,82	10,69	-12,51				
0,944	- 1,48	9,34	-10,82				
0,999	- 1,60	8,44	-10,05	1,00	-22,00	-12,00	-10,00
1,055	- 1,96	7,36	- 9,32				
1,166	- 3,42	4,54	- 7,97				
1,277	- 6,07	0,66	- 6,74				
1,388	-10,13	- 4,54	- 5,58				
1,499	-15,79	-11,32	- 4,47	1,50	-42,50	-42,00	- 0,50

TABLEAU 61

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 4) sous les charges statiques et thermiques (α = 0,10m., F = 12,5 x 10^4 New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta/\partial\zeta$ = 100 oc/m.				modèle d'Expérimental, $\partial\theta/\partial\zeta$ = 108 oc/m. 46			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	+ 8,77x10^{-5}	+28,57x10^{-5}	-19,80x10^{-5}	0,00m.	+19,00x10^{-5}	+70,00x10^{-5}	-51,00x10^{-5}
0,055	8,97	28,50	-19,52				
0,166	9,99	28,19	-18,19				
0,277	10,51	27,55	-17,03	0,28	+13,00	+55,00	-42,00
0,388	10,74	26,58	-15,83				
0,499	10,63	25,24	-14,60	0,50	+29,00	+68,00	-39,00
0,611	10,09	23,47	-13,37				
0,722	9,04	21,22	-12,17				
0,833	7,38	18,39	-11,01				
0,944	5,02	14,92	- 9,89				
0,999	3,55	12,90	- 9,35	1,00	- 6,00	+14,00	-20,00
1,055	1,87	10,69	- 8,81				
1,166	- 2,17	5,60	- 7,78				
1,277	- 7,24	- 0,46	- 6,78				
1,388	-13,43	- 7,60	- 5,86				
1,499	-20,84	-15,99	- 4,85	1,50	-52,00	-43,00	- 9,00

TABLEAU 62

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D - 4) sous les charges statiques et thermiques (a = 0,10m., F = 12,5 x 10^4 New.)

modèle de Frémond, $\partial\theta/\partial z$ = 150 °C/m.				modèle d'Expérimental, $\partial\theta/\partial z = \frac{153}{50}$ °C/m.			
distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)	distance au centre	(w) de la charge (m.)	(w) de la décharge (m.)	(w) élastique (m.)
0,00m.	+24,51x10^{-5}	+44,32x10^{-5}	-19,80x10^{-5}	0,00m.	+15,00x10^{-5}	+68,00x10^{-5}	-53,00x10^{-5}
0,055	24,68	44,21	-19,53				
0,166	25,54	43,74	-18,19				
0,277	25,73	42,77	-17,04	0,28	+ 5,00	+51,00	-46,00
0,388	25,46	41,30	-15,84				
0,499	24,65	39,26	-14,61	0,50	+24,00	+65,00	-41,00
0,611	23,20	36,59	-13,38				
0,722	20,99	33,17	-12,18				
0,833	17,86	28,90	-11,01				
0,944	13,75	23,65	- 9,89				
0,999	11,25	20,61	- 9,35	1,00	- 2,00	+22,00	-24,00
1,055	8,44	17,26	- 8,81				
1,166	1,8	9,58	- 7,78				
1,277	- 6,34	0,44	- 6,78				
1,388	-16,16	-10,35	- 5,80				
1,499	-27,80	-22,95	- 4,85	1,50	-36,00	-26,00	-10,00

TABLEAU 63 à 64

Décollage de la dalle (D-2) sous les $(\frac{\partial\theta}{\partial z})$ élevées (a = 0,20m. ; F = 5 x 10^4 New.)

$\partial\theta/\partial z$	(w) élastique (m.)					Δw au centre (m)	$\Delta(\partial\theta/\partial z)$
oc/m.	r = 0,00	r = 0,28	r = 0,50	r = 1,00	r = 1,50		oc/m.
85	-43×10^{-5}	-28×10^{-5}	-15×10^{-5}	$0,5\times10^{-5}$	$+7\times10^{-5}$		
0	-36	-26	-15	0,5	+12	-9×10^{-5}	85
40	-36	-26	-15	+ 2	+10		
0	-34	-26	-15	0,5	+12	-2×10^{-5}	40
100	-50	-32	-18	+ 3	+ 8		
0	-34	-26	-15	+0,5	+12	-16×10^{-5}	100
36	-36	-26	-16	- 1	+12		
0	-34	-26	-15	0,5	+12	-2×10^{-5}	36

TABLEAU 65 à 67

Décollage de la dalle (D-3) sous les $(\frac{\partial\theta}{\partial z})$ élevées (a = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

$\partial\theta/\partial z$	(w) élastique (m.)					Δw au centre (m)	$\Delta(\partial\theta/\partial z)$
oc/m.	r = 0,00	r = 0,28	r = 0,50	r = 1,00	r = 1,50		oc/m.
107	-47×10^{-5}	-37×10^{-5}	-29×10^{-5}	-10×10^{-5}	$-0,5\times10^{-5}$		
0	-34	-28	-21	-10	-1	-13×10^{-5}	107
60	-36	-30	-21	-10	-0,5		
0	-34	-28	-21	-10	-1	-2×10^{-5}	60
115	-47	-40	-28	-11	-2		
0	-34	-28	-21	-10	-1	-13×10^{-5}	115
50	-36	-28	-21	-10	-1		
0	-34	-28	-21	-10	-1	-2×10^{-5}	50
115	-54	-44	-33	-14	-0,5		
0	-34	-28	-21	-10	-1	-20×10^{-5}	115
60	-35	-30	-22	-10	-1		
0	-34	-28	-21	-10	-1	-1×10^{-5}	60

TABLEAU 68 à 71

Décollage de la dalle (D-4) sous les $(\frac{\partial\theta}{\partial z})$ élevées (α = 0,10m., F = 12,5 x 10^4 New.)

$\partial\theta/\partial z$	(w) élastique (m.)					Δw au centre (m)	$\Delta(\partial\theta/\partial z)$
oc/m.	r = 0,00	r =0,28	r =0,50	r =1,00	r =1,50		oc/m.
(100)(50)	-49x10^{-5}	-42,10^{-5}	-35x10^{-5}	-21x10^{-5}	-8x10^{-5}		
0	-29	-25	-20	-14	-9	-20x10^{-5}	(100)(50)
50	-36	-30	-23	-14	-9		
0	-29	-25	-20	-14	-9	- 7x10^{-5}	50
(130)(57)	-49	-43	-33	-20	-8		
0	-29	-25	-20	-14	-9	-20x10^{-5}	(130)(50)
40	-30	-26	-20	-14	-7		
0	-29	-25	-20	-14	-9	- 1x10^{-5}	40
(150)(57)	-52	-48	-40	-24	-11		
0	-29	-25	-20	-14	-9	-23x10^{-5}	(150)(57)
35	-31	-25	-31	-14	-8		
0	-29	-25	-20	-14	-9	- 2x10^{-5}	35
(150)(57)	-55	-48	-38	-22	-8		
0	-29	-25	-20	-14	-9	-26x10^{-5}	(150)(57)
40	-29	-25	-21	-13	-7		
0	-29	-25	-20	-14	-9	0x10^{-5}	40

TABLEAU 72

Répartitions des (w) à la surface de la dalle (D-1) sous les charges thermiques

$\partial\theta/\partial z$	(w) dus aux gradients de température (m.)						
oc/m.	r =0,00	r =0,15	r =0,30	r =0,45	r =0,60	r =0,90	r =1,50
25	+8x10^{-5}	+6x10^{-5}	+4x10^{-5}	+2x10^{-5}	-1x10^{-5}	-6x10^{-5}	-45x10^{-5}
50	+19	+16	+12	+8	-0,5	-12	-58
75	+28	+25	+20	+15	+2	-18	-65

TABLEAU 73

Répartitions des (ε_r) et (ε_t) à l'interface de la dalle (D-1) sous les charges statiques (P = 10×10^4 Nev.)

a = 0,15 m.					a = 0,20 m.				
	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental			modèle de Burmister		modèle d'Expérimental	
distance au centre	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	distance au centre	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique
0,00m.	$+85,60 \times 10^{-6}$	$+85,60 \times 10^{-6}$	$+100 \times 10^{-6}$	$+88,00 \times 10^{-6}$	0,00m.	$+70,12 \times 10^{-6}$	$+70,12 \times 10^{-6}$	$97,00 \times 10^{-6}$	$86,00 \times 10^{-6}$
0,15	46,69	72,16			0,20	33,75	57,94		
0,30	6,22	47,26			0,40	- 1,99	34,78		
0,45	- 6,50	31,13			0,50	- 6,33	27,73	-26,00	-53,00
0,50	- 9,80	21,07	-27,00	+54,00	0,60	-10,74	20,69		
0,60	-11,46	20,94			0,80	-12,17	12,57		
0,75	-12,59	14,29			1,00	-10,91	7,72	-11,00	-22,00
0,90	-11,88	9,76			1,20	- 8,67	4,77		
1,00	-11,42	7,78	-10,00	+22,00	1,40	- 6,76	3,02		
1,05	-10,47	6,79			1,50	- 5,88	2,46	- 2,00	+ 8,00
1,20	- 8,77	4,81			1,60	- 5,01	1,91		
1,35	- 7,21	3,39			1,80	- 3,58	1,19		
1,50	- 5,80	2,40	- 2,00	+ 8,00	2,00	- 2,54	0,76		
1,65	- 4,52	1,69			2,20	- 1,75	0,49		
1,80	- 3,53	1,18			2,40	- 1,27	0,31		
1,95	- 2,82	0,84			2,60	- 0,95	0,19		

TABLEAU 74

Répartitions des (ε_r) et (ε_t) à l'interface de la dalle (D-1) sous les charges statiques. ($F = 10x10^4$ New.)

a = 0,25 m.					a = 0,30 m.				
distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental		distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental	
	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique		(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique
0,00m.	$58,75x10^{-6}$	$58,75x10^{-6}$	$94,00x10^{-6}$	$90,00x10^{-6}$	0,00m.	$49,70x10^{-6}$	$49,70x10^{-6}$	$96,00x10^{-6}$	$85,00x10^{-6}$
0,25	24,83	47,53			0,30	18,39	39,39		
0,50	- 6,47	26,16	-24,00	+51,00	0,50	- 4,50	25,90	-22,00	+52,00
0,75	-11,67	14,07			0,60	- 8,73	19,90		
1,00	-10,76	7,75	-11,00	+20,00	0,90	-11,08	9,71		
1,25	- 8,26	4,28			1,00	- 9,78	8,06	-11,00	+21,00
1,50	- 5,61	2,39	- 1,00	+ 8,00	1,20	- 8,64	4,76		
1,75	- 3,98	1,32			1,50	- 5,82	2,36	- 1,00	+ 6,00
2,00	- 2,61	0,76			1,80	- 3,48	1,23		
2,25	- 1,63	0,44			2,10	- 2,25	0,63		
2,50	- 1,12	0,26			2,40	- 1,34	0,32		
2,75	- 0,66	0,14			2,70	- 0,74	0,16		
3,00	- 0,40	0,07			3,00	- 0,52	0,07		
3,25	- 0,39	0,03			3,30	- 0,25	0,03		
3,50	- 0,31	0,02			3,60	- 0,11	0,02		
3,75	- 0,23	0,01			3,90	- 0,21	0,01		

TABLEAU 75

Répartitions des (ε_r) et (ε_t) à l'interface de la dalle (D-2) sous les charges statiques (α = 0,20m., F = 5 x 10^4 New.)

modèle de Burmister			modèle d'Expérimental		
distance au centre	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	distance au centre	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique
0,00m	+63,79x10^{-6}	63,79x10^{-6}	0,00m.	70,00x10^{-6}	71,00x10^{-6}
0,20	15,44	48,25			
0,40	-18,70	19,42			
0,50	-16,47	13,31	0,50	-18,00	+27,00
0,60	-14,24	7,20			
0,80	- 7,88	2,71			
1,00	- 3,98	0,99	1,00	- 5,00	+18,00
1,20	- 1,59	0,36			
1,40	- 1,11	0,11			
1,50	- 0,85	0,06	1,50	- 2,00	+ 7,00
1,60	- 0,59	0,06			
1,80	- 0,19	0,06			

TABLEAU 77

Répartitions des (ε_r) et (ε_t) à l'interface de la dalle (D-3) sous les charges statiques (α = 0,15m., F = 10 x 10^4 New.)

modèle de Burmister			modèle d'Expérimental		
distance au centre	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	distance au centre	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique
0,00m.	85,74x10^{-6}	85,74x10^{-6}	0,00m.	94,00x10^{-6}	+102,00x10^{-6}
0,15	43,72	71,17			
0,30	1,41	44,75			
0,45	-10,18	27,87			
0,50	-11,26	24,37	0,50	- 5,00	46,00
0,60	-13,44	17,82			
0,75	-11,46	11,46			
0,90	- 9,48	7,49			
1,00	- 8,10	5,74	1,00	- 8,00	+ 13,00
1,05	- 7,49	4,95			
1,20	- 5,66	3,25			
1,35	- 4,24	2,12			
1,50	- 3,25	1,41	1,50	- 2,00	+ 7,00

TABLEAU 76

Répartitions des (ε_r) et (ε_t) à l'interface de la dalle (D-2) sous les charges statiques (F = 5 x 10^4 New.)

a = 0,15 m.					a = 0,25 m.				
distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental		distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental	
	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique		(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique
0,00m.	87,80x10^{-6}	87,80x10^{-6}	84,00x10^{-6}	84,00x10^{-6}	0,00m.	47,37x10^{-6}	47,37x10^{-6}	60,00x10^{-6}	59,00x10^{-6}
0,15	29,99	68,83			0,25	7,44	34,83		
0,30	-17,97	33,32			0,50	-16,24	11,70	-15,00	+24,00
0,45	-20,02	15,42			0,75	- 9,23	3,41		
0,50	-18,22	12,48	-20,00	+30,00	1,00	- 4,02	1,04	- 4,00	+14,00
0,60	-14,64	7,21			1,25	- 1,75	0,28		
0,75	- 9,26	3,39			1,50	- 0,40	0,03	0,00	+ 3,00
0,90	- 5,23	1,62			1,75	- 0,53	0,05		
1,00	- 4,59	1,34	-50,00	+16,00	2,00	- 0,25	0,09		
1,05	- 3,32	0,77			2,25	- 0,22	0,11		
1,20	- 1,91	0,35			2,50	- 0,09	0,11		
1,35	- 0,99	0,14			2,75	- 0,01	0,11		
1,50	- 0,72	0,03	+ 1,00	+10,00	2,00	—	0,10		
1,65	- 0,31	0,02			3,25	—	0,10		
1,80	- 0,09	0,01			3,50	—	0,09		
1,95	- 0,05	0,01			3,75	—	0,08		

TABLEAU 78

Répartitions les (ε_r) et (ε_t) à l'interface de la dalle (D-3) sous les charges statiques (P = 10 x 10^4 New.)

α = 0,20 m.					α = 0,25 m.				
distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental		distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental	
	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique		(ε_r) élastique	(ε_t) élastique	(ε_r) élastique	(ε_t) élastique
0,00m.	68,85x10^{-6}	68,85x10^{-6}	75,00x10^{-6}	86,00x10^{-6}	0,00m.	56,66x10^{-6}	56,66x10^{-6}	60,00x10^{-6}	80,00x10^{-6}
0,20	30,32	55,95			0,25	21,26	44,98		
0,40	- 5,97	31,60			0,50	- 9,43	23,05	-2,00	40,00
0,50	- 9,39	24,53	-4,00	45,00	0,75	-12,44	11,42		
0,60	-12,81	17,67			1,00	- 9,99	5,71	-8,00	12,00
0,80	-12,49	10,03			1,25	- 6,88	2,91		
1,00	-10,10	5,73	-8,00	13,00	1,50	- 4,26	1,47	-3,00	7,00
1,20	- 7,38	3,34			1,75	- 2,77	0,75		
1,40	- 5,30	1,91			2,00	- 1,68	0,38		
1,50	- 4,47	1,51	-2,00	10,00	2,25	- 0,97	0,19		
1,60	- 3,64	1,11			2,50	- 0,65	0,08		
1,80	- 2,38	0,66			2,75	- 0,34	0,04		
2,00	- 1,67	0,38			3,00	- 0,18	0,02		
2,20	- 1,06	0,22			3,25	- 0,24	0,01		
2,40	- 0,70	0,11			3,50	- 0,15	0,01		
2,60	- 0,58	0,05			3,75	- 0,14	——		

TABLEAU 87

Linéarité des (w) en fonction de F, pour la dalle (D - 1)

	les (w) de la surface et du centre, (m.)				
F (New) / (a)	$0x10^4$	$4x10^4$	$6x10^4$	$8x10^4$	$10x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-5}$	$-13x10^{-5}$	$-20x10^{-5}$	$-28x10^{-5}$	$-35x10^{-5}$
0,20 m.	0	-13	-19	-28	-34
0,25 m.	0	-14	-20	-26	-33
0,30 m.	0	—	-20	-26	-32

TABLEAU 88

Linéarité des (w) en fonction de F, pour la dalle (D - 2)

	les (w) de la surface et du centre, . (m.)			
F (New.) / (a)	$0x10^4$	$2,5x10^4$	$5x10^4$	$6x10^4$
0,15 m..	$-0x10^{-5}$	$-20,7x10^{-5}$	$-35,9x10^{-5}$	$-42,0x10^{-5}$
0,20 m.	0	-18,5	-34,0	-41,0

TABLEAU 89

Linéarité des (w) en fonction de F, pour la dalle (D - 3)

	les (w) de la surface et du centre, (m.)			
F (New.) / (a)	$0x10^4$	$5x10^4$	$10x10^4$	$12,5x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-5}$	$-18x10^{-5}$	$-34x10^{-5}$	$-42x10^{-5}$
0,20 m.	0	-17	-33	-39

TABLEAU 90

Linéarité des (w) en fonction de F, pour la dalle (D - 4)

	les (w) de la surface et du centre, (m.)		
F (New.) / (a)	$0x10^4$	$10x10^4$	$12,5x10^4$
0,10 m.	$0x10^{-5}$	$-23,5x10^{-5}$	$-29,3x10^{-5}$
0,15 m.	0	-23,1	-33,0

TABLEAU VII

Répartition des ε_r et ε_t à l'interface de la dalle (D-4) sous les charges statiques ($P = 10 \times 10^3$ daN.)

$a = 0{,}15$ m.					$a = 0{,}20$ m.				
distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental		distance au centre	modèle de Burmister		modèle d'Expérimental	
	ε_r élastique	ε_t élastique	ε_r élastique	ε_t élastique		ε_r élastique	ε_t élastique	ε_r élastique	ε_t élastique
0,00m.	$+46{,}90 \times 10^{-6}$	$+46{,}90 \times 10^{-6}$	$+198 \times 10^{-6}$	$+265 \times 10^{-6}$	0,00m.	$+39{,}87 \times 10^{-6}$	$+39{,}87 \times 10^{-6}$	$+170 \times 10^{-6}$	$+192{,}10^{-6}$
0,15	28,44	40,18			0,20	+21,65	33,43		
0,30	7,64	28,44			0,40	2,62	21,89		
0,45	- 3,90	19,95			0,50	- 0,34	18,10	-1,0	
0,50	- 3,80	17,19	-1,0		0,60	- 3,26	14,32		
0,60	- 3,53	14,43			0,80	- 5,41	9,63		
0,75	- 5,25	10,61			1,00	- 5,81	6,52	-2,0	
0,90	- 5,94	7,92			1,20	- 5,49	4,45		
1,00	- 5,90	6,92	-3,0		1,40	- 4,85	3,10		
1,05	- 5,94	5,94			1,50	- 4,40	2,62	-1,0	
1,20	- 5,52	4,52			1,60	- 4,05	2,14		
1,35	- 5,09	3,41			1,80	- 3,34	1,51		
1,50	- 4,52	2,54	-1,0		2,00	- 2,71	1,05		
1,65	- 3,96	1,94			2,20	- 2,06	0,74		
1,80	- 3,33	1,51			2,40	- 1,67	0,52		

TABLEAU 91

Linéarité des (ε_r) en fonction de F, pour la dalle (D -1)

F (New) / (a)	les (ε_r) de l'interface et du centre				
	$0x10^4$	$4x10^4$	$6x10^4$	$8x10^4$	$10x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-6}$	$+48x10^{-6}$	$66x10^{-6}$	$82x10^{-6}$	$100x10^{-6}$
0,20 m.	0	40	58	76	97
0,25 m.	0	41	58	75	94
0,30 m.	0	—	61	71	96

TABLEAU 92

Linéarité des (ε_r) en fonction de F, pour la dalle (D - 2)

F (New.) / (a)	les (ε_r) de l'interface et du centre			
	$0x10^4$	$2,5x10^4$	$5x10^4$	$6x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-6}$	$48x10^{-6}$	$84x10^{-6}$	$104x10^{-6}$
0,20 m.	0	42	70	90

TABLEAU 93

Linéarité des (ε_r) en fonction de F, pour la dalle (D -3)

F (New.) / (a)	les (ε_r) de l'interface et du centre			
	$0x10^4$	$5x10^4$	$10x10^4$	$12,5x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-6}$	$42x10^{-6}$	$94x10^{-6}$	$122x10^{-6}$
0,20 m.	0	36	75	88

TABLEAU 94

Linéarité des (ε_t) en fonction de F, pour la dalle (D-1)

	(ε_t) de l'interface et du centre				
a \ F (New.)	$0x10^4$	$4x10^4$	$6x10^4$	$8x10^4$	$10x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-6}$	$43x10^{-6}$	$60x10^{-6}$	$74x10^{-6}$	$88x10^{-6}$
0,20 m.	0	36	52	71	86
0,25 m.	0	39	58	73	90
0,30 m.	0	54	67	85	100

TABLEAU 95

Linéarité des (ε_t) en fonction de F, pour la dalle (D-2)

	(ε_t) de l'interface et du centre			
a \ F (New.)	$0x10^4$	$2,5x10^4$	$5x10^4$	$6x10^4$
0,15 m.	0	$48x10^{-6}$	$84x10^{-6}$	$104x10^{-6}$
0,20 m.	0	42	70	90

TABLEAU 96

Linéarité des (ε_t) en fonction de F, pour la dalle (D-3)

	(ε_t) de l'interface et du centre			
a \ F New.	$0x10^4$	$5x10^4$	$10x10^4$	$12,5x10^4$
0,15 m.	$0x10^{-6}$	$51x10^{-6}$	$102x10^{-6}$	$128x10^{-6}$
0,20 m.	0	43	86	107

TABLEAU 102

Isotropie de la dalle (D-1) au moyen des (w). (a = 0,15m., F = $10x10^4$ New.)

directions	(w) de la surface (m.)			
	n = 0,00	n = 0,45	n = 0,60	n = 1,00
o x	$-32x10^{-5}$	$-22x10^{-5}$	$-19x10^{-5}$	$-9x10^{-5}$
o y	-34	-26	-21	-11
o x'	-36	-23	-20	-11
o y'	-34	-22	-19	-10

TABLEAU 103

Isotropie de la dalle (D-2) au moyen des (w). (a = 0,20m., F = 5×10^4 New.)

directions	(w) de la surface (m.)				
	n = 0,00	n = 0,28	n = 0,50	n = 1,00	n = 1,50
o x	$-36x10^{-5}$	$-26x10^{-5}$	$-15x10^{-5}$	$0x10^{-5}$	$+12x10^{-5}$
o y	-37	-27	-15	0	+12
o x'	-37	-25	-18	0	+12
o y'	-35	-25	-17	0	+12

TABLEAU 104

Isotropie de la dalle (D-3) au moyen des (w). (a = 0,15m., F = 10×10^4New.)

directions	(w) de la surface (m.)				
	n = 0,00	n = 0,28	n = 0,50	n = 1,00	n = 1,50
o x	$-34x10^{-5}$	$-28,5x10^{-5}$	$-21x10^{-5}$	$-10,5x10^{-5}$	$-1x10^{-5}$
o y	-34	-28	-20	-10	-1
o x'	-33,5	-27	-17,5	- 8	-1
o y'	-34	-28	-19	-10	-1

TABLEAU 105

Isotropie de la dalle (D-4) au moyen des (w). (a = 0,10m., F = $12,5x10^4$ New.)

directions	(w) de la surface (m.)				
	n = 0,00	n = 0,28	n = 0,50	n = 1,00	n = 1,50
o x	$-29x10^{-5}$	$-25x10^{-5}$	$-20x10^{-5}$	$-15x10^{-5}$	$-9x10^{-5}$
o y	-29	-24	-21	-16	-10
o x'	-30	-26	-21	-14	- 9
o y'	-28	-25	-20	-14	- 9

TABLEAU 106

Essai de plaque pour le support de la dalle (D-1). (Ø = 0,60m.)

Emplacement	F (New.)	w_t (m.)	w_p (m.)	w_e (m.)	(w_e) moyen (m.)
(1)	$5,6 \times 10^4$ 7,0	-46×10^{-5} -106	-10×10^{-5} -64	-36×10^{-5} -42	
(2)	5,6 7,0	-5,6 -124	-14 -84	-42 -40	
(3)	5,6 7,0	-44 -98	- 6 -54	-38 -44	$F = 5,6 \times 10^4$ $w_e = -38 \times 10^{-5}$
(4)	5,6 7,0	-40 -80	- 6 -38	-34 -42	$F = 7,0 \times 10^4$ $w_e = -42 \times 10^{-5}$

TABLEAU 107

Essai de plaque pour le support de la dalle (D-2), (Ø = 0,60m.)

Emplacement	F (New.)	w_t (m.)	w_p (m.)	w_e (m.)	(w_e) moyen (m.)
(1)	$5,6 \times 10^4$ 7,0	-30×10^{-5} -64	$- 4 \times 10^{-5}$ -34	-26×10^{-5} -30	
(2)	5,6 7,0	-26 -40	- 2 -14	-24 -26	
(3)	5,6 7,0	-34 -62	- 3 -28	-31 -34	$F = 5,6 \times 10^4$ $w_e = -26 \times 10^{-5}$
(4)	5,6 7,0	-24 -42	- 2 -20	-22 -22	$F = 7,0 \times 10^4$ $w_e = -28 \times 10^{-5}$

TABLEAU 108

Essai de plaque pour le support de la dalle (D-3). (Ø = 0,60m.)

Emplacement	F (New.)	w_t (m.)	w_p (m.)	w_e (m.)	(w_e) moyen (m.)
(1)	$5,6x10^4$ 7,0	$-24x10^{-5}$ -44	$-2x10^{-5}$ -16	$-22x10^{-5}$ -28	
(2)	5,6 7,0	-28 -52	- 4 -20	-24 -32	
(3)	5,6 7,0	-26 -52	- 2 -26	-24 -26	$F = 5,6x10^4$ $w_e = -26x10^{-5}$
(4)	5,6 7,0	-26 -48	- 3 -20	-23 -28	$F = 7,0x10^4$ $w_e = -28x10^{-5}$

TABLEAU 109

Essai de plaque pour le support de la dalle (D-4). (Ø = 0,60m.)

Emplacement	F (New.)	w_t (m.)	w_p (m.)	w_e (m.)	(w_e) moyen (m
(1)	$5,6x10^4$ 7,0	$-32x10^{-5}$ -50	$-6x10^{-5}$ -22	$-26x10^{-5}$ -28	
(2)	5,6 7,0	-28 -52	- 4 -24	-24 -28	
(3)	5,6 7,0	-26 -44	- 2 -16	-24 -28	$F = 5,6x10^4$ $w_e = -25x10^{-5}$
(4)	5,6 7,0	-30 -54	- 4 -22	-26 -28	$F = 7,0x10^4$ $w_e = -28x10^{-5}$

TABLEAU 110

Comparaison des modèles théoriques et expérimentaux

les dalles	α , $\mathcal{F}$	r (m.)	w_E (m.)	w_F (m.)	w_B (m.)
(D - 1)	α = 0,15m., F = 10×10^4 New.	0,00	$-35,00 \times 10^{-5}$	$-35,22 \times 10^{-5}$	$-30,94 \times 10^{-5}$
		0,15	-34,00	-33,24	-29,26
		0,30	-30,40	-29,62	-25,84
		0,45	-23,30	-25,64	-22,34
		0,60	-20,00	-21,57	-19,09
		1,00	-11,00	-12,82	-12,55
		1,50	- 2,50	- 4,68	- 7,84
	α = 0,20m., F = 10×10^4 New.	0,00	-34,00	-36,45	-30,12
		0,20	-34,00	-33,75	-27,86
		0,40	-27,80	-28,46	-23,38
		0,50	-22,50	-25,70	-21,22
		0,60	-19,80	-22,97	-19,06
		0,80	-15,00	-17,94	-15,39
		1,00	-11,50	-13,61	-12,48
		1,50	- 2,50	- 5,00	- 7,89
	α = 0,25m., F = 10×10^4 New.	0,00	-33,00	-34,19	-29,30
		0,25	-32,00	-30,98	-26,47
		0,40	-25,50	-27,22	-23,22
		0,50	-23,00	-24,62	-21,06
		0,75	-16,00	-18,40	-16,22
		1,00	-11,00	-13,10	-12,48
		1,20	- 8,00	- 9,52	-10,31
		1,50	- 3,00	- 4,84	- 7,86

Coefficients des régressions, corrélations, et les coordonnées d'origines des couples (w_E , w_F), (w_E , w_B), (w_F , w_B)

TABLEAU 110 (suite)

les dalles	α , F	n (m.)	w_E (m.)	w_F (m.)	w_B (m.)
(D - 1)	α = 0,30m., F = 10×10^4 New.	0,00	-32,00 $\times 10^{-5}$	-32,70 $\times 10^{-5}$	-28,49 $\times 10^{-5}$
		0,30	-30,00	-28,70	-25,40
		0,50	-24,00	-23,84	-21,02
		0,60	-20,00	-21,38	-18,95
		0,90	-12,80	-14,67	-13,85
		1,00	-11,00	-12,75	-12,65
		1,20	- 8,00	- 9,28	-10,26
		1,50	- 4,00	- 4,73	- 7,87
(D - 3)	α = 0,15m., F = 10×10^4 New.	0,00	-34,00	-28,88	-25,39
		0,28	-28,50	-24,06	-20,77
		0,50	-21,00	-18,91	-16,11
		1,00	-10,50	-10,04	- 8,82
		1,50	- 1,00	- 4,47	- 5,43
	α = 0,20m., F = 10×10^4 New.	0,00	-33,00	-30,31	-25,39
		0,28	-26,60	-25,94	-20,77
		0,50	-21,60	-20,52	-16,11
		1,00	-12,00	-10,96	- 8,82
		1,50	- 4,00	- 4,89	- 5,43

TABLEAU 110 (suite)

les dalles	α F, α = 0,25m., F = 10x10^4 New.	η (m.)	w_E (m.)	w_F (m.)	w_B (m.)
(D - 3)		0,00	-33,00x10^{-5}	-30,31x10^{-5}	-24,55x10^{-5}
		0,28	-26,60	-25,94	-20,60
		0,50	-21,60	-20,52	-16,10
		1,00	-12,00	-10,96	- 8,80
		1,50	- 4,00	- 4,89	- 5,47

(w_E , w_F)	- coefficient de régression	0,9086
	- coefficient de corrélation	0,9844
	- coordonnée d'origine	2,2504x10^{-5} m.
(w_E , w_B)	- coefficient de régression	0,6891
	- coefficient de corrélation	0,9706
	- coordonnée d'origine	4,2355x10^{-5} m.
(w_F , w_B)	- coefficient de régression	0,7634
	- coefficient de corrélation	0,9909
	- coordonnée d'origine	2,4144x10^{-5} m.

TABLEAU 111

Comparaison des modèles théoriques et expérimentaux

les dalles	a , F	n (m.)	w_E (m.)	w_F (m.)	w_B (m.)
(D - 2)	a=0,15m. F=5x10^{4}New.	0,00	-35,90x10^{-5}	-21,23x10^{-5}	-21,60x10^{-5}
		0,28	-26,30	-14,92	-14,47
		0,50	-15,10	- 9,43	-10,77
		1,00	- 0,50	- 3,63	- 3,97
		1,50	+12,00	- 1,88	- 2,57
	a=0,20m. F=5x10^4 New.	0,00	-34,00	-21,16	-20,23
		0,28	-26,00	-15,48	-12,48
		0,50	-15,00	- 9,92	- 8,16
		1,00	- 0,50	- 3,87	- 3,95
		1,50	+12,00	- 2,01	- 2,58
	a=0,30m. F=5x10^4 New.	0,00	-32,00	-19,45	-18,89
		0,28	-25,00	-14,78	-16,53
		0,50	-15,00	- 9,62	- 8,95
		1,00	- 0,50	- 3,75	- 3,97
		1,50	+10,00	- 1,92	- 2,57

Coefficients des régressions, corrélations, et les coordonnées d'origines des couples (w_E , w_F), (w_E , w_B), (w_F , w_B)

(w_E , w_F)	- Coefficient de régression	0,5470
	- coefficient de corrélation	0,8986
	- coordonnée d'origine	0,5175x10^{-5} m.
(w_E , w_B)	- coefficient de régression	0,5157
	- coefficient de corrélation	0,8898
	- coordonnée d'origine	0,8553x10^{-5} m.
(w_F , w_B)	- coefficient de régression	0,9372
	- coefficient de corrélation	0,9888
	- coordonnée d'origine	0,4845

TABLEAU 112

Comparaison des modèles théoriques et expérimentaux

les dalles	a , F	n (m.)	w_E (m.)	w_F (m.)	w_B (m.)
(D - 4)	a=0,10m F=10x10^{4}New.	0,00	$-23,00\times10^{-5}$	$-19,70\times10^{-5}$	$-17,77\times10^{-5}$
		0,28	-20,00	-17,03	-15,11
		0,50	-16,00	-14,59	-12,94
		1,00	-11,00	- 9,34	- 8,67
		1,50	- 8,00	- 4,85	- 5,86
	a=0,15m F=10x10^{4}New.	0,00	-23,00	-18,07	-17,16
		0,28	-20,50	-15,93	-15,05
		0,50	-17,00	-13,67	-12,92
		1,00	-11,80	- 8,67	- 8,68
		1,50	- 7,00	- 4,55	- 5,86
	a=0,20m F=10x10^4 New.	0,00	-23,00	-18,72	-16,73
		0,28	-19,80	-16,83	-14,95
		0,50	-16,50	-14,43	-12,88
		1,00	-12,00	- 9,31	- 8,66
		1,50	- 7,60	- 4,86	- 5,89

Coefficients des régressions, corrélations, et les coordonnées d'origines des couples (w_E , w_F), (w_E , w_B), (w_F , w_B)

(w_E , w_F)	- coefficient de régression	0,9044
	- coefficient de corrélation	0,9880
	- coordonnée d'origine	$-1,5319\times10^{-5}$m.
(w_E , w_B)	- coefficient de régression	0,7365
	- coefficient de corrélation	0,9956
	- coordonnée d'origine	$0,3447\times10^{-5}$m.
(w_F , w_B)	- coefficient de régression	0,8037
	- coefficient de corrélation	0,9945
	- coordonnée d'origine	$1,7276\times10^{-6}$m.

TABLEAU 113

Les résultats finals des comparaisons des modèles théoriques et expérimentaux

cas généraux	les tableaux références		(w_E , w_F)	(w_E , w_B)	(w_F , w_B)
EN CONSIDERANT LES DECOLLEMENTS DES DALLES	110	coefficient de régression →	0,8500	0,6748	0,7875
	111	coefficient de corrélation →	0,901	0,8983	0,9903
	112	coordonnée d'origine →	$0,9687 \times 10^{-5}$ m.	$2,5887 \times 10^{-5}$ m.	$1,9477 \times 10^{-5}$ m.
SANS CONSIDERANT LES DECOLLEMENTS DES DALLES	110	coefficient de régression →	0,9373	0,7176	0,7690
	112	coefficient de corrélation →	0,9712	0,9593	0,9921
		coordonnée d'origine →	$0,7677 \times 10^{-5}$ m.	$2,9188 \times 10^{-5}$ m.	$2,2703 \times 10^{-5}$ m.

TABLEAU 114

Comparaison des déformations théoriques et expérimentales

Dalle	α F.	r (m.)	$(\varepsilon_r)_E$	$(\varepsilon_r)_B$	$(\varepsilon_t)_E$	$(\varepsilon_t)_B$
(D - 1)	α=0,15 F=10x10⁴ m. (New.)	0,00	100,00x10⁻⁶	85,60x10⁻⁶	88,00x10⁻⁶	85,60x10⁻⁶
		0,50	-27,00	- 9,80	54,00	21,07
		1,00	-10,00	-11,42	22,00	7,78
		1,50	- 2,00	- 5,80	8,00	2,40
	=0,20 F=10x10⁴ m. (New.)	0,00	97,00	+70,12	86,00	70,12
		0,50	-26,00	- 6,33	53,00	27,73
		1,00	-11,00	-10,91	22,00	7,72
		1,50	- 2,00	- 5,88	8,00	2,46
	α=0,25 F=10x10⁴ m. (New.)	0,00	94,00	58,75	90,00	58,75
		0,50	-24,00	- 6,47	51,00	26,16
		1,00	-11,00	-10,76	20,00	7,75
		1,50	- 1,00	- 5,61	8,00	2,39
	α=0,30 F=10x10⁴ m. (New.)	0,00	96,00	49,70	85,00	49,70
		0,50	-22,00	- 4,50	52,00	25,90
		1,00	-11,00	- 9,78	21,00	8,60
		1,50	- 1,00	- 5,82	6,00	2,36
(D - 3)	α =0,15 F=10x10⁴ m. (New.)	0,00	94,00x10⁻⁶	85,74	102,00	85,74
		0,50	- 5,00	-11,26	46,00	24,37
		1,00	- 8,00	- 8,10	13,00	5,74
		1,50	- 2,00	- 3,25	7,00	1,41
	α=0,20 F=10x10⁴ m. (New.)	0,00	75,00	68,85	86,00	68,85
		0,50	- 4,00	- 9,39	45,00	24,53
		1,00	- 8,00	-10,10	13,00	5,73
		1,50	- 2,00	- 4,47	10,00	1,51

Coefficients des régressions et corrélations et les coordonnées d'origines des $(\varepsilon_{r_E}, \varepsilon_{r_B})$, $(\varepsilon_{t_E}, \varepsilon_{t_B})$

TABLEAU 114 (suite)

Dalles	α F,	r (m.)	$(\varepsilon_r)_E$	$(\varepsilon_r)_B$	$(\varepsilon_t)_E$	$(\varepsilon_t)_B$
(D - 3)	α=0,25 m. F=10x10^4 New.	0,00	60,00	56,66	80,00	56,66
		0,50	- 2,00	- 9,43	40,00	23,05
		1,00	- 8,00	- 9,99	12,00	5,71
		1,50	- 3,00	- 4,26	7,00	1,47
(D - 2)	α=0,15 m. F=5x10^4 New	0,00	84,00	87,80	84,00	87,80
		0,50	-20,00	-18,22	30,00	12,48
		1,00	- 5,00	- 4,59	16,00	1,34
		1,50	1,00	- 0,72	10,00	0,03
	α=0,20 m. F=5x10^4 New	0,00	70,00	63,79	71,00	63,79
		0,50	-18,00	-16,47	27,00	13,31
		1,00	- 5,00	- 3,98	18,00	0,99
		1,50	- 2,00	- 0,85	7,00	0,06
	α=0,25 m. F=5x10^4 New.	0,00	60,00	47,37	60,00	47,37
		0,50	-15,00	-16,24	24,00	11,70
		1,00	- 4,00	- 4,02	14,00	1,04
		1,50	0,00	- 0,40	3,00	0,03

$[(\varepsilon_r)_E , (\varepsilon_r)_B]$	- coefficient de régression	0,7638
	- coefficient de corrélation	0,9508
	- coordonnée d'origine	$1,8015 \times 10^{-6}$
$[(\varepsilon_t)_E , (\varepsilon_t)_B]$	- coefficient de régression	0,8660
	- coefficient de corrélation	0,9589
	- coordonnée d'origine	$-8,6733 \times 10^{-6}$

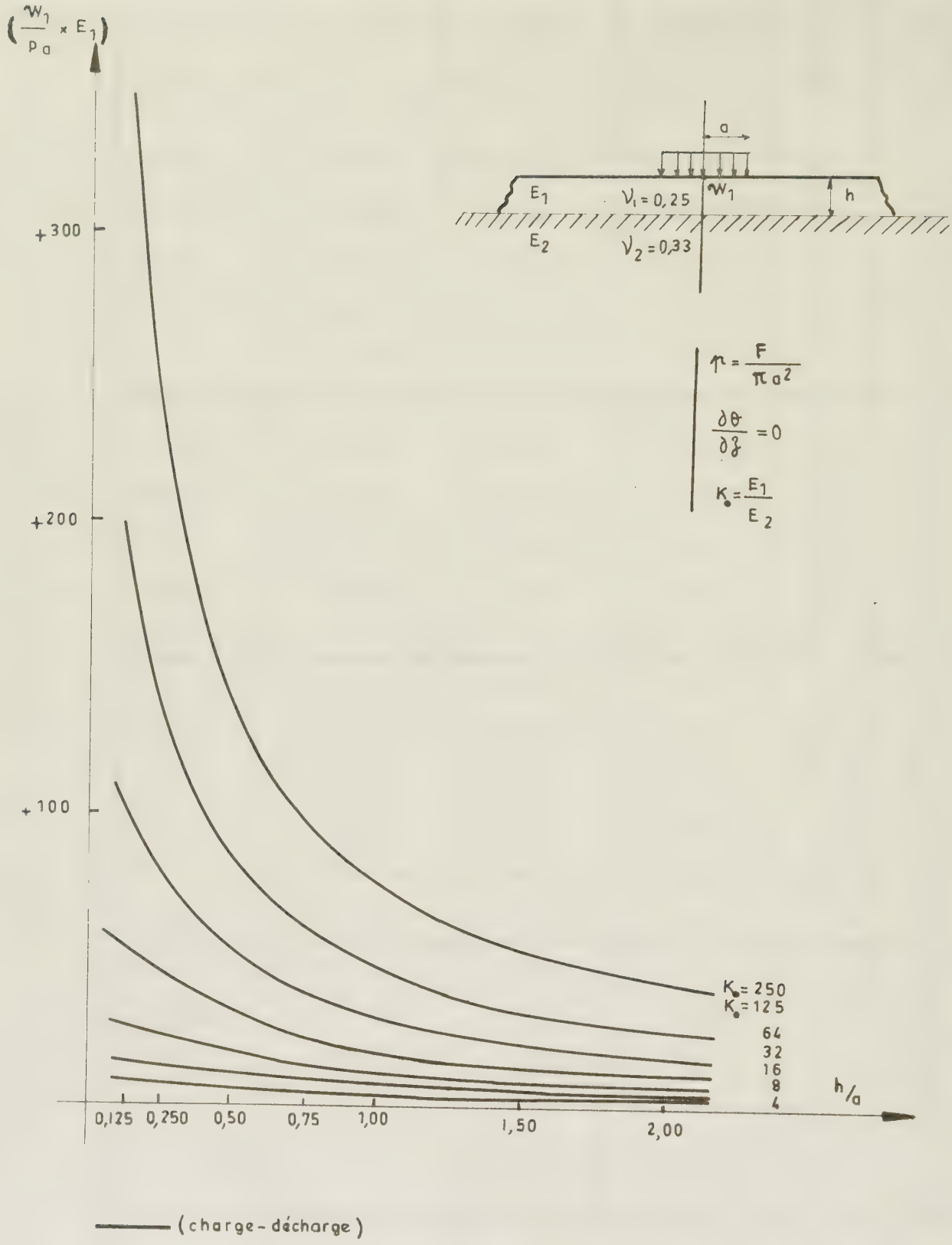


FIGURE 1 -VARIATIONS DES $\left(\frac{w_1}{p_a} \times E_1, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES IN INFINIES_

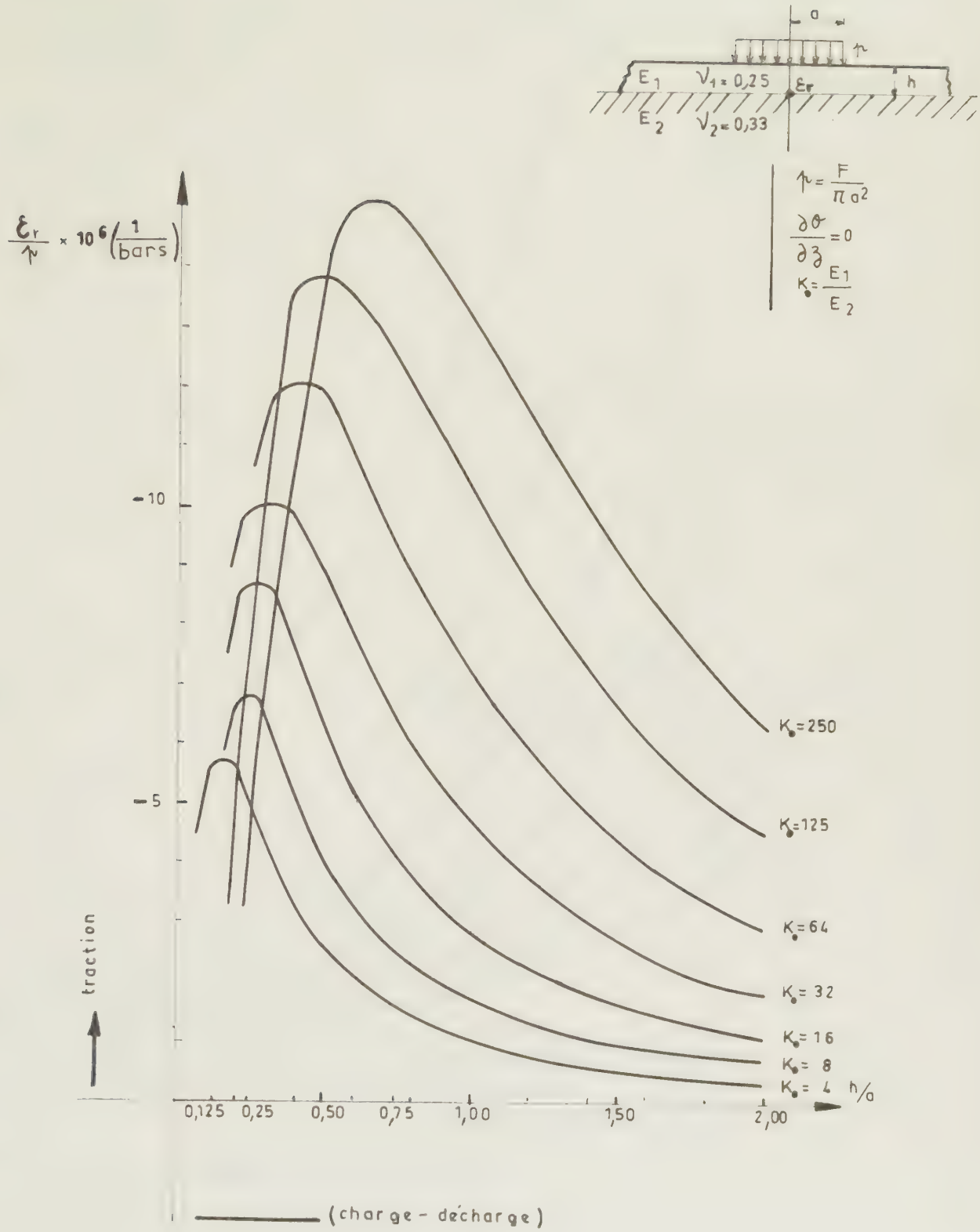


FIGURE 2- VARIATIONS DES $\left(\frac{\varepsilon_r}{p} \times 10^6, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES INFINIES

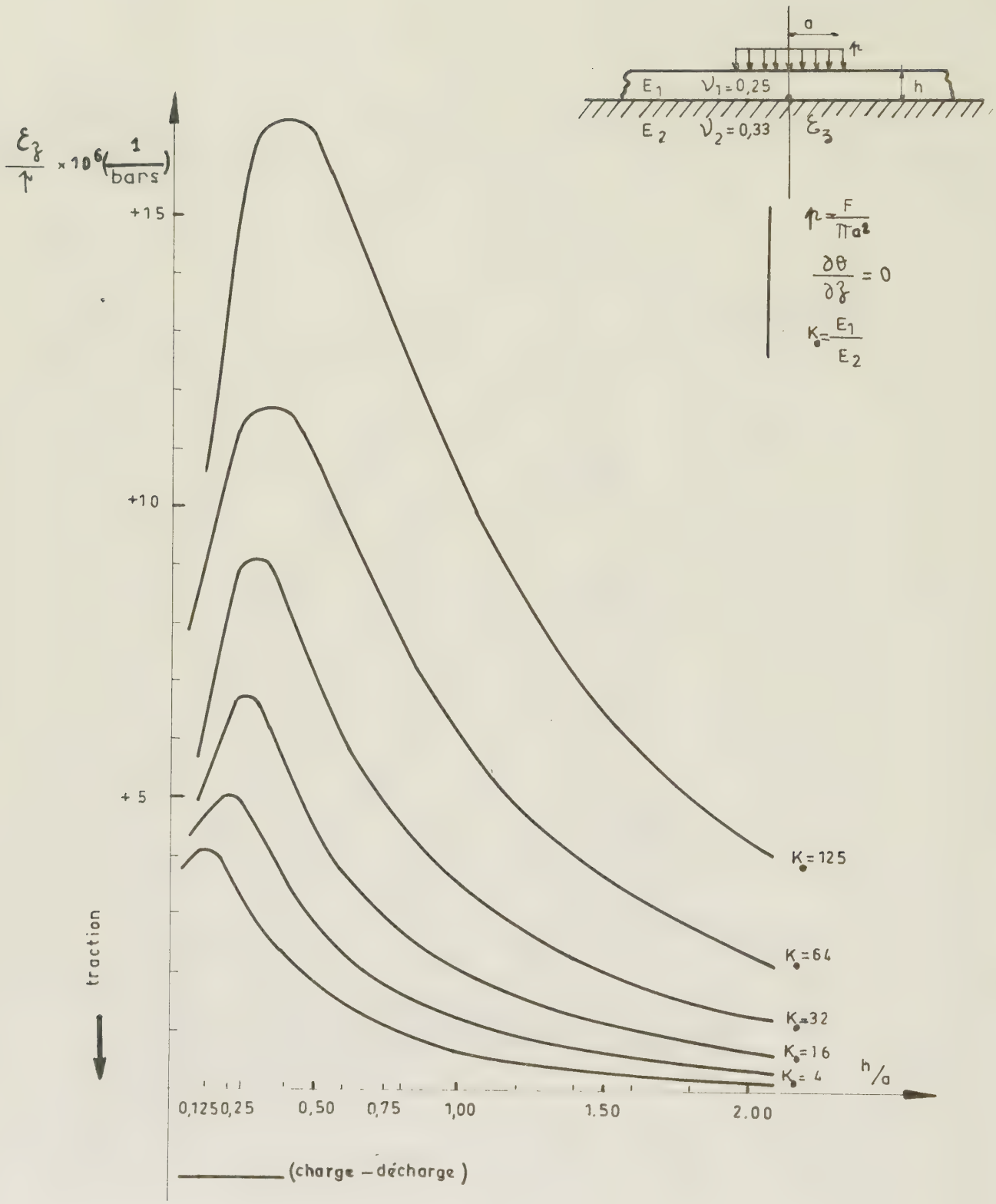


FIGURE 3 - VARIATIONS DES $\left(\frac{\varepsilon_\zeta}{p} \times 10^6, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES INFINIES.

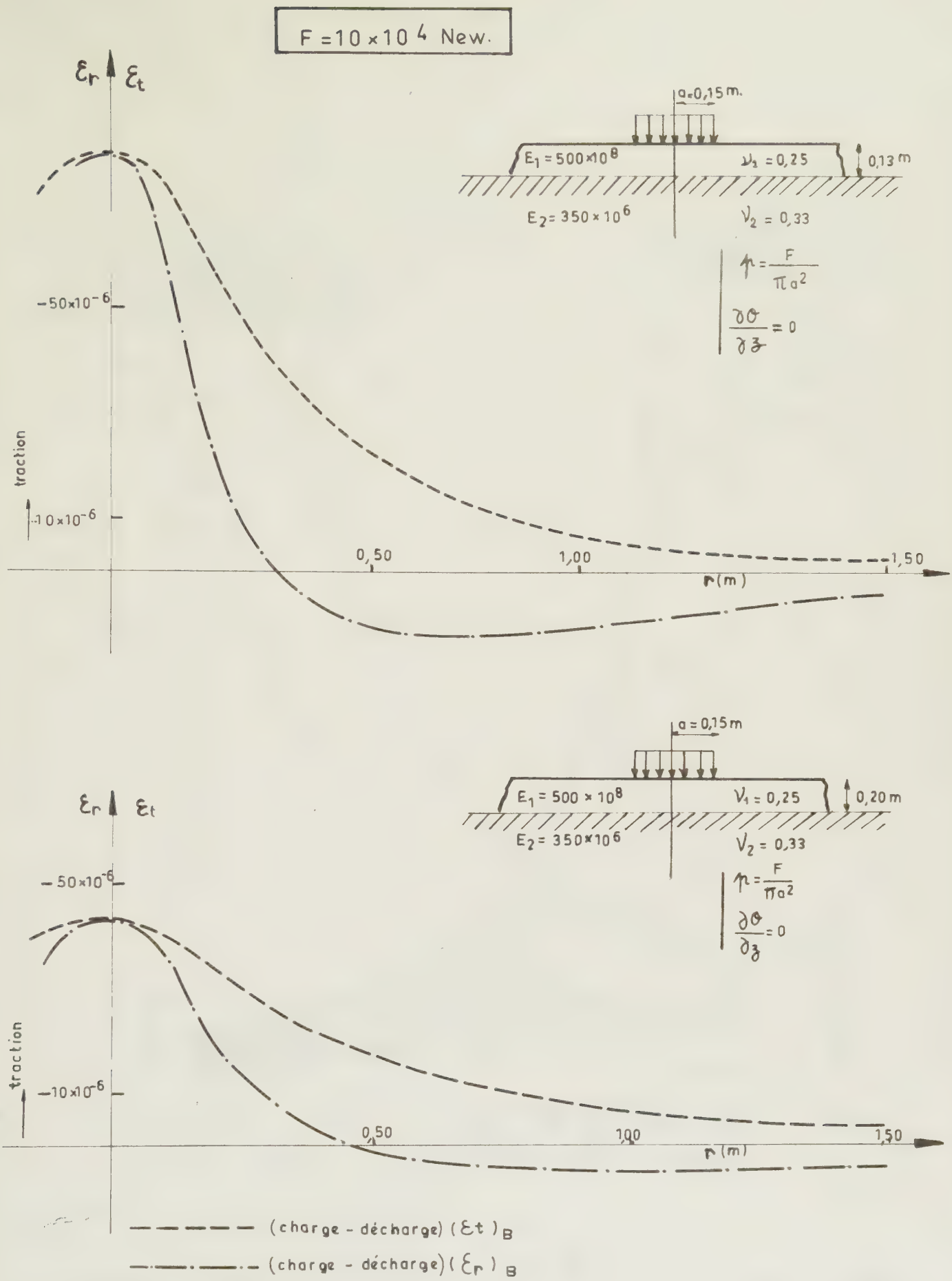


FIGURE 4 - REPARTITIONS DES (ε_r , ε_t) DES INTERFACES DES DALLES INFINIES.

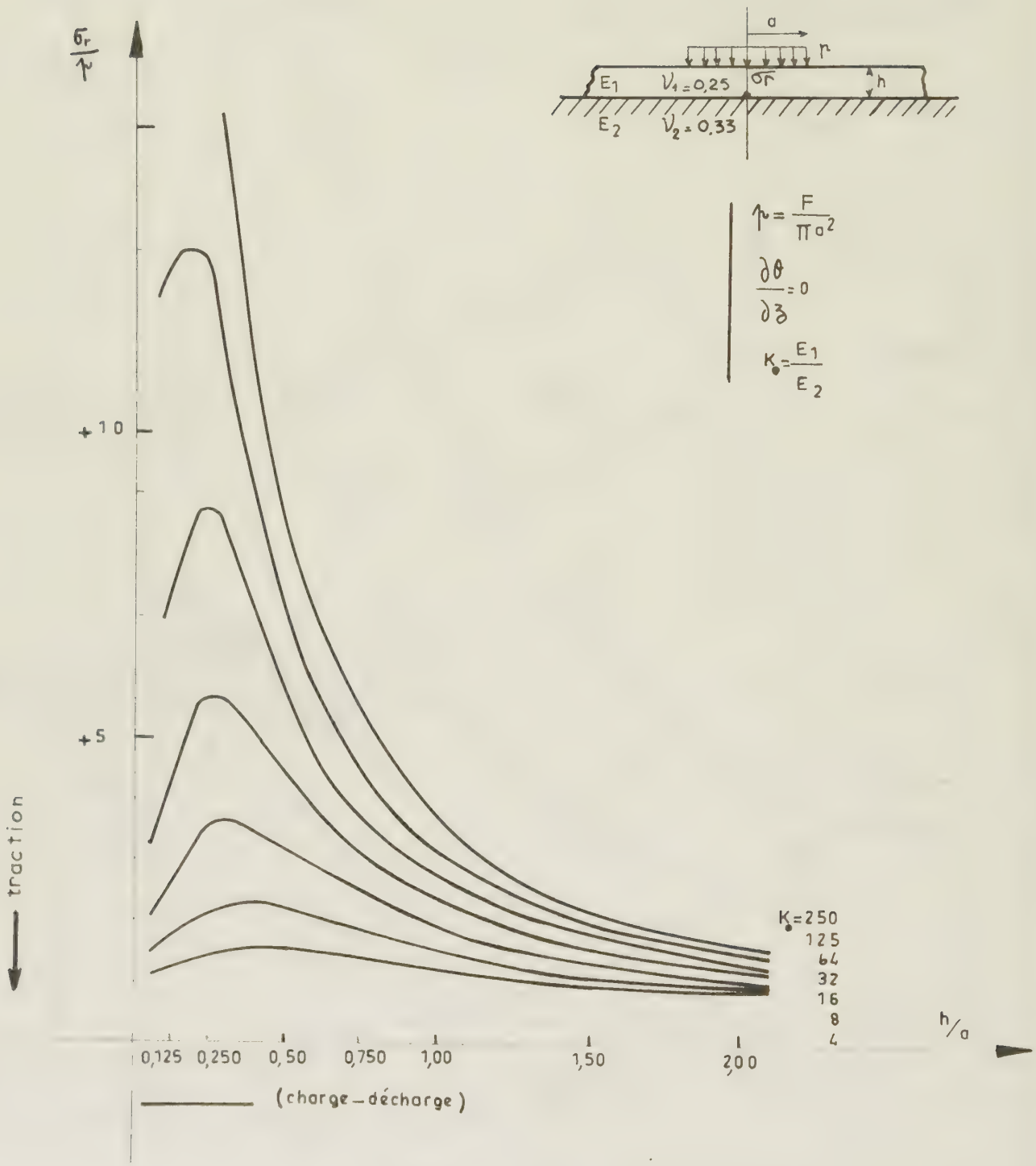


FIGURE 5 - VARIATIONS DES $\left(\frac{\sigma_r}{p}, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRE DES DALLES INFINIES -

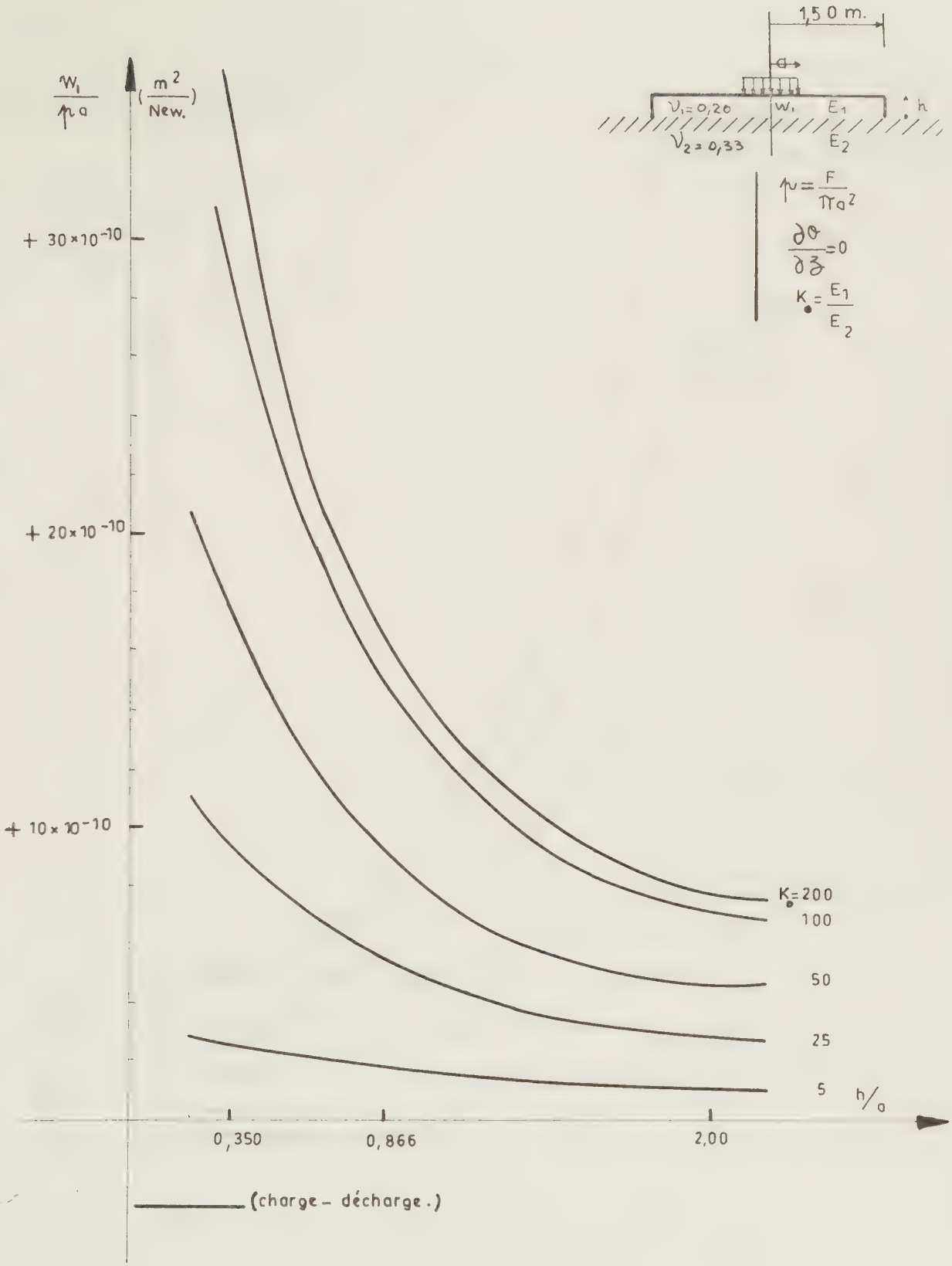


FIGURE 6 - VARIATIONS DES $\left(\frac{w_1}{p a}, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES FINIES

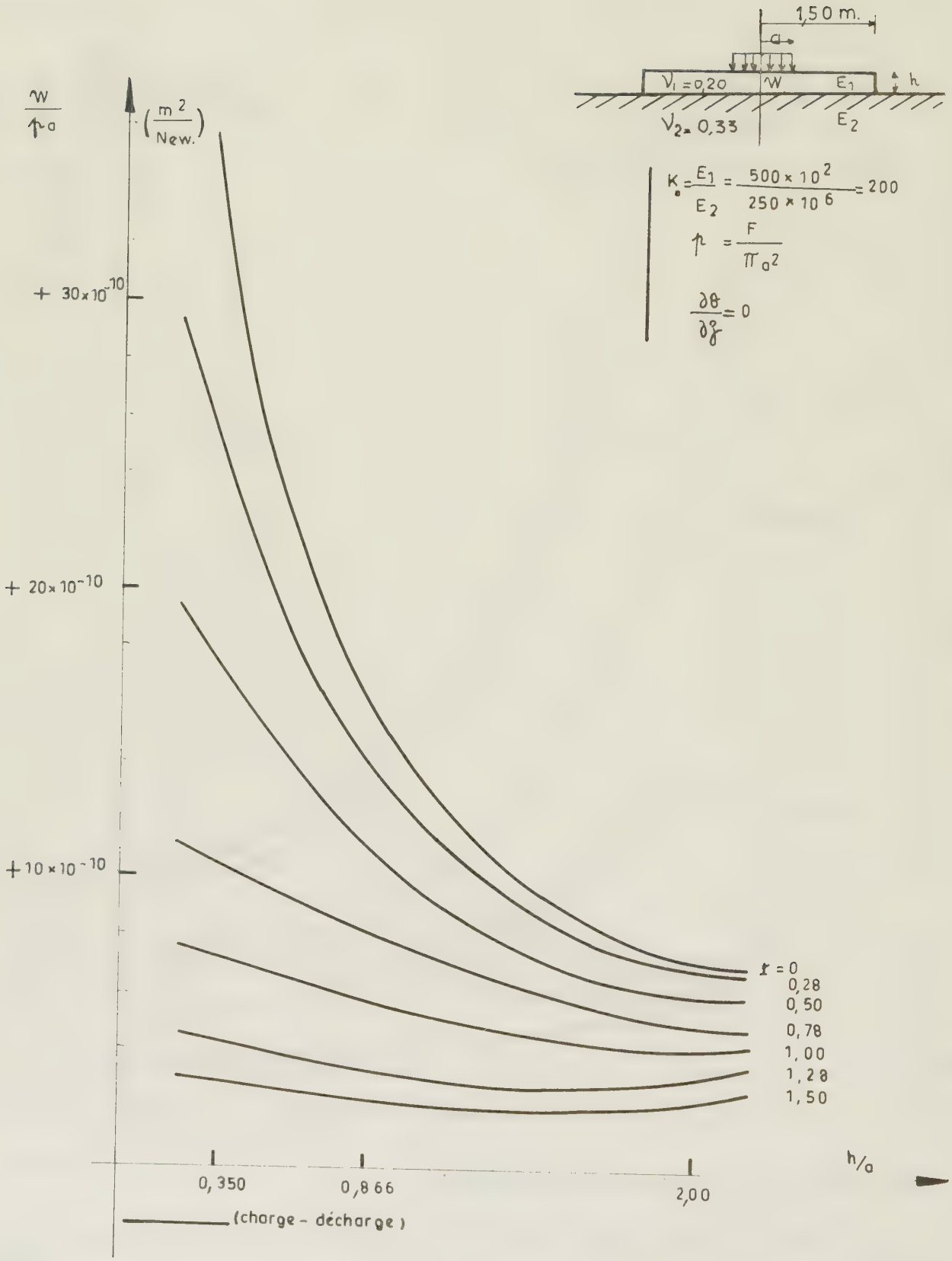
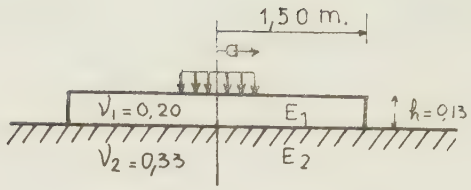


FIGURE 7 - VARIATIONS DES $\left(\frac{w}{pa}, \frac{h}{a}\right)$ DES SURFACES DES DALLES FINIES.

$F = 10 \times 10^4$ New.



$$K_\bullet = \frac{E_1}{E_2} = \frac{500 \times 10^{-8}}{250 \times 10^6} = 200$$

$$\uparrow = \frac{F}{\pi a^2}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$$

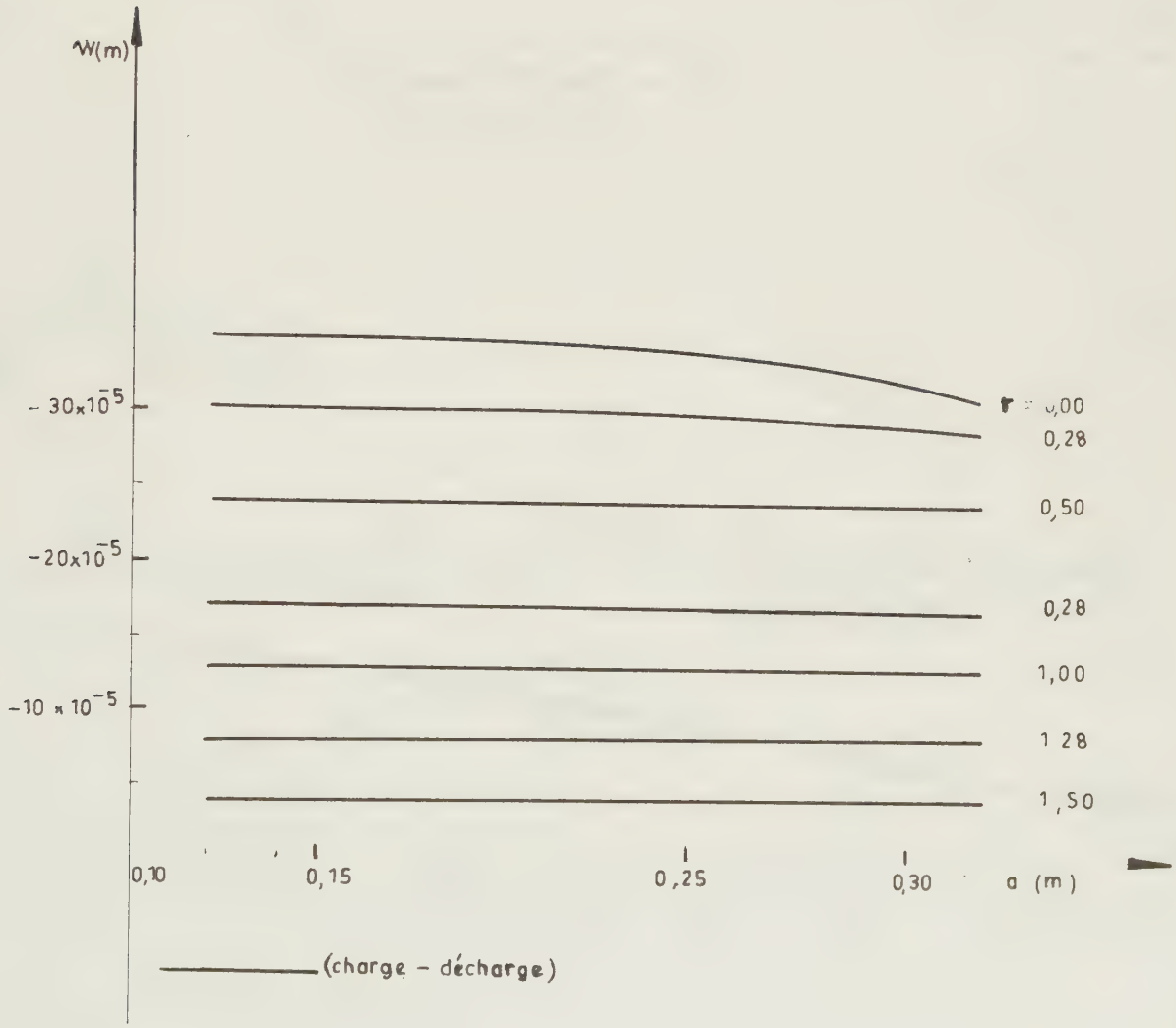


FIGURE 8 - VARIATIONS DES (W, a) AUX SURFACES DES DALLES FINIES.

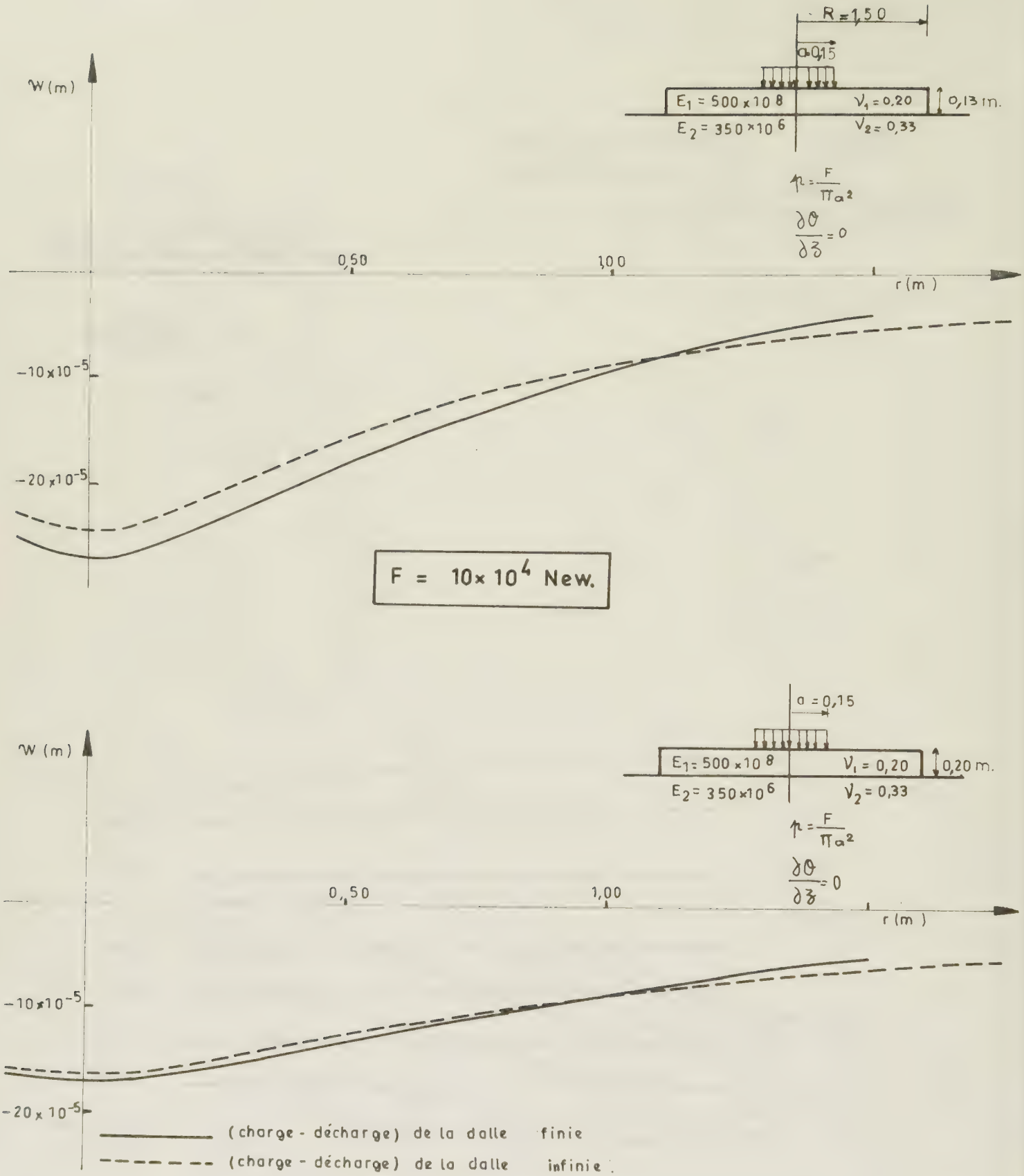


FIGURE 9 - REPARTITIONS DES (W) DES SURFACES DES DALLES -

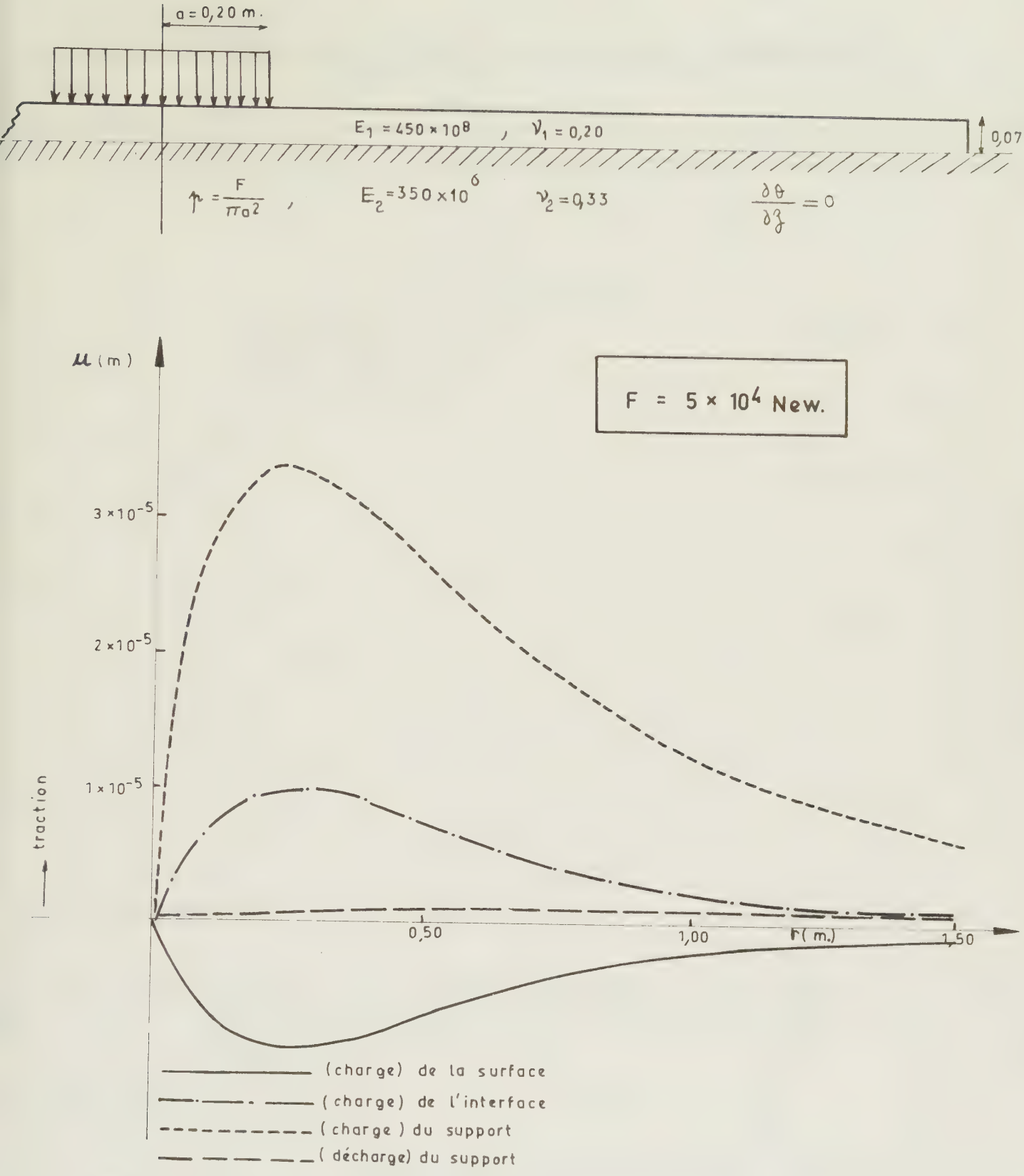
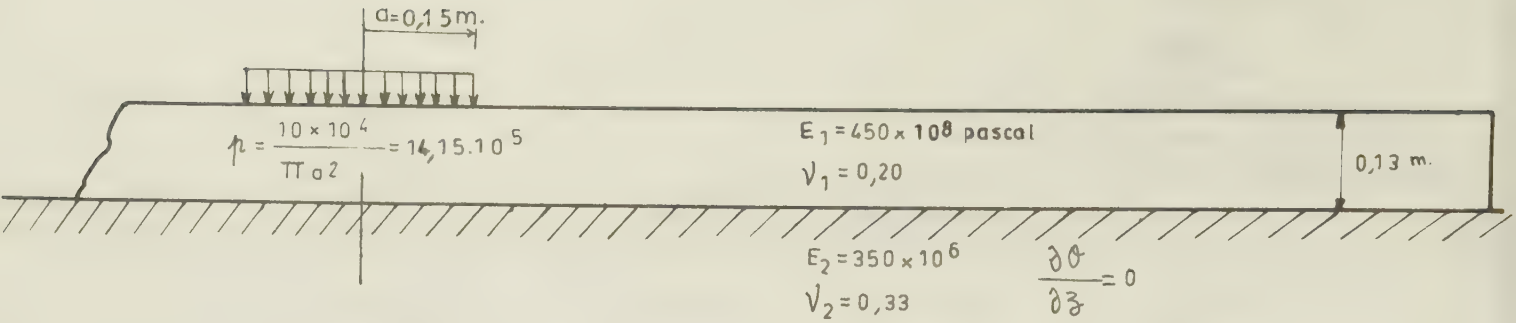


FIGURE 10- REPARTITIONS DES (u) DE LA DALLE MINCE.



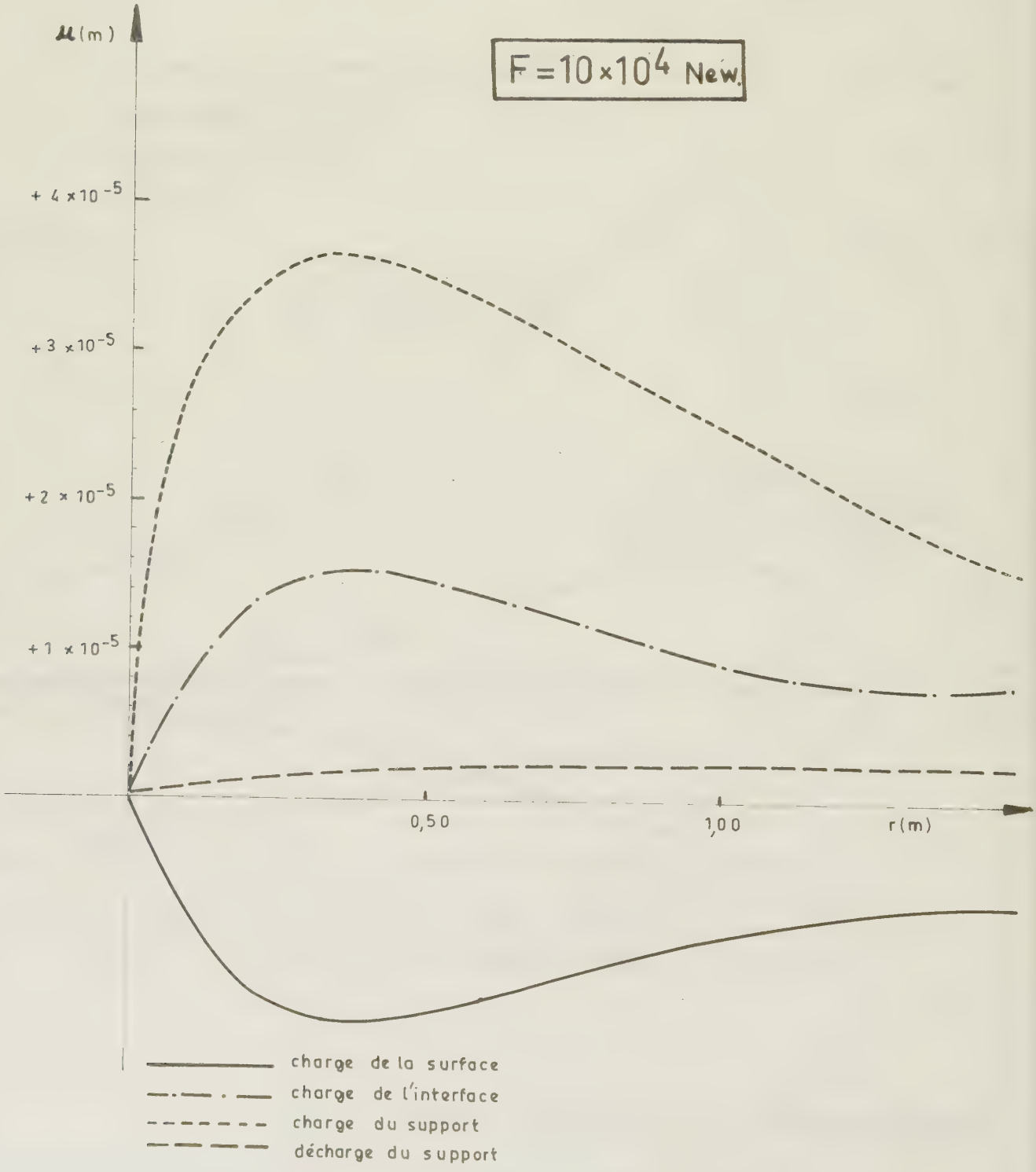
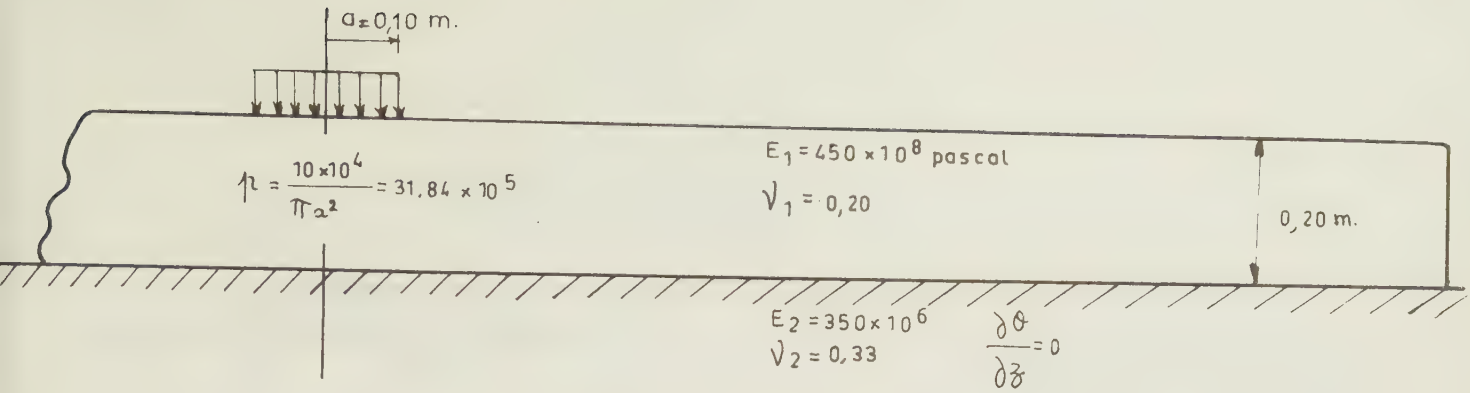


FIGURE 11 - REPARTITIONS DES (u) POUR LA DALLE FINIE.



F = 10 ×10⁴ New.

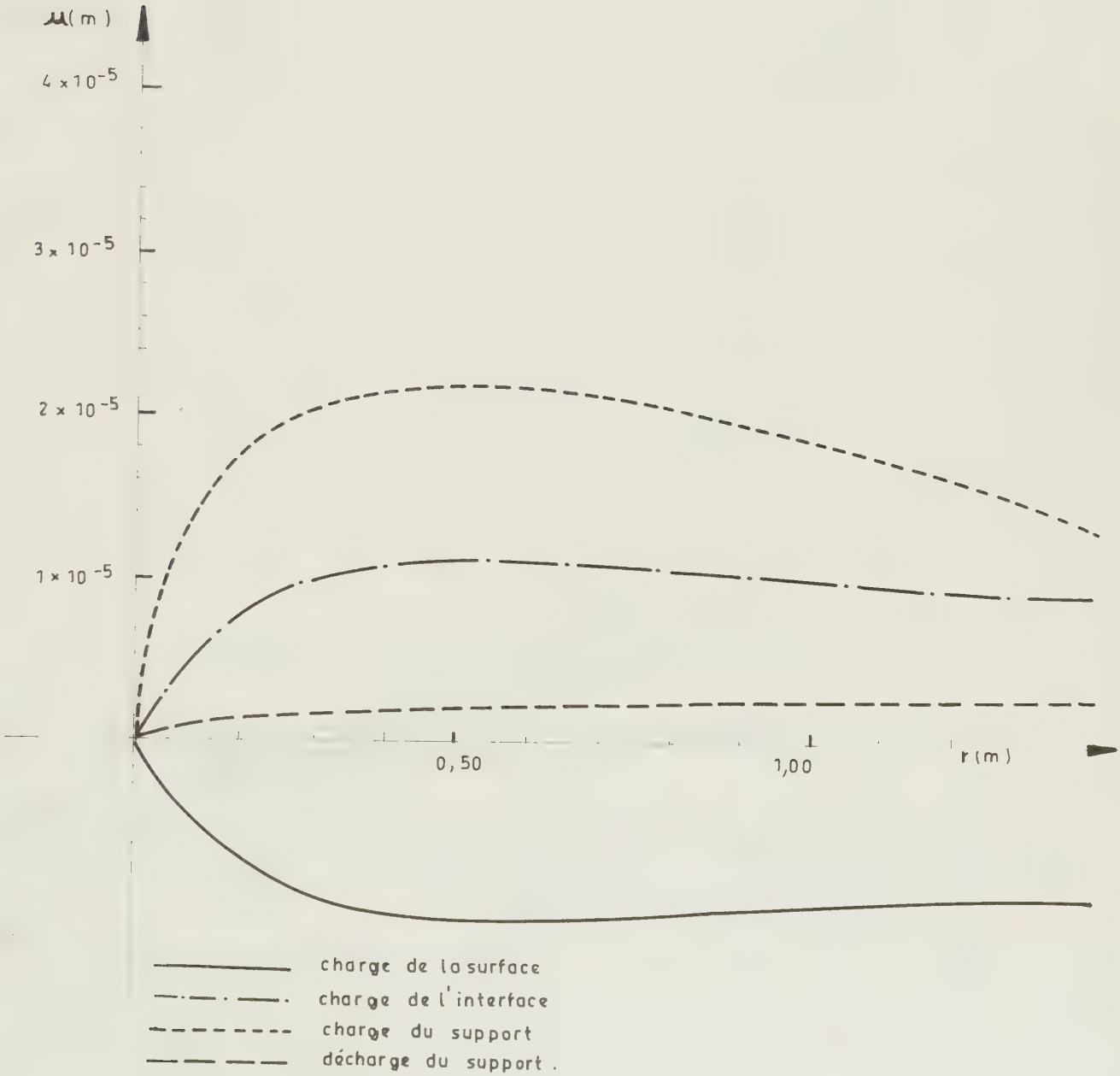


FIGURE 12- REPARTITIONS DES (u) POUR LA DALLE FINIE

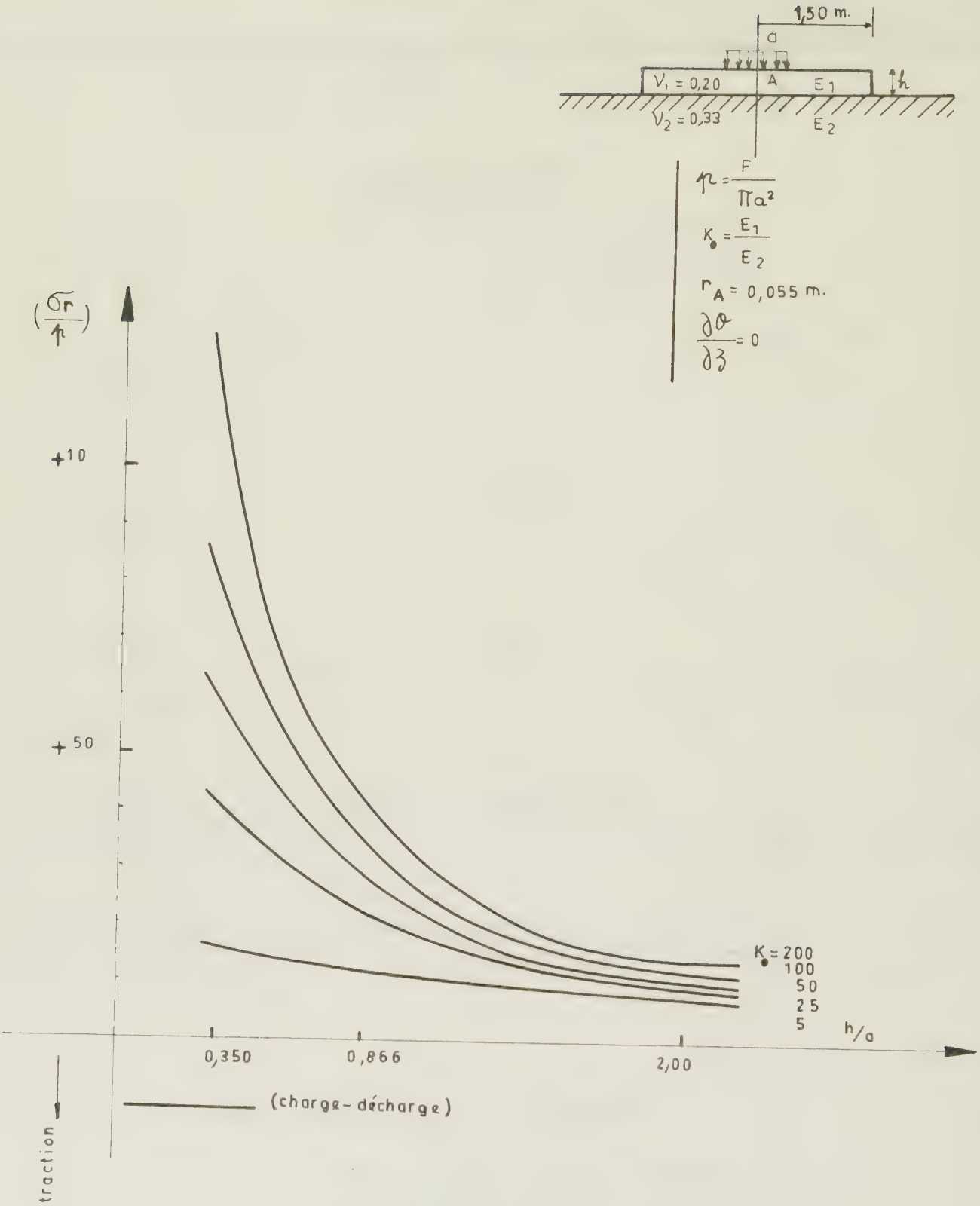
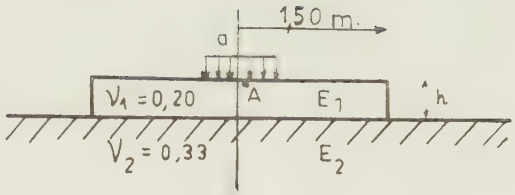


FIGURE 13- VARIATIONS DES $\left(\frac{\sigma r}{p}, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES FINIES

$F = 10 \times 10^4$ New.



$p = \frac{F}{\pi a^2}$

$K_\circ = \frac{E_1}{E_2}$

$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$r_A = 0,055$ m.

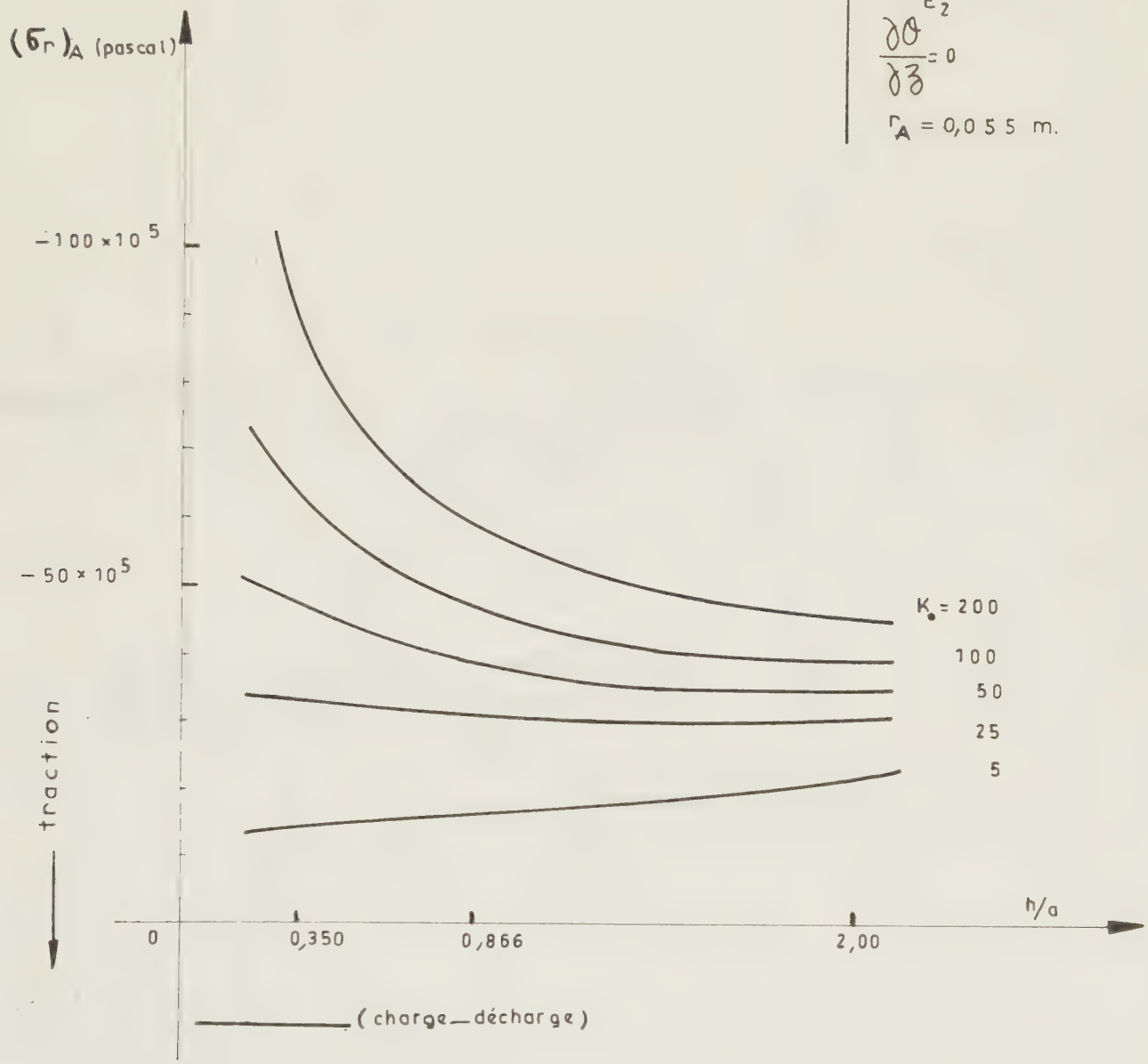


FIGURE 14 - VARIATIONS DES $(\sigma_r, \frac{h}{a})$ AUX CENTRES DES DALLES FINIES -

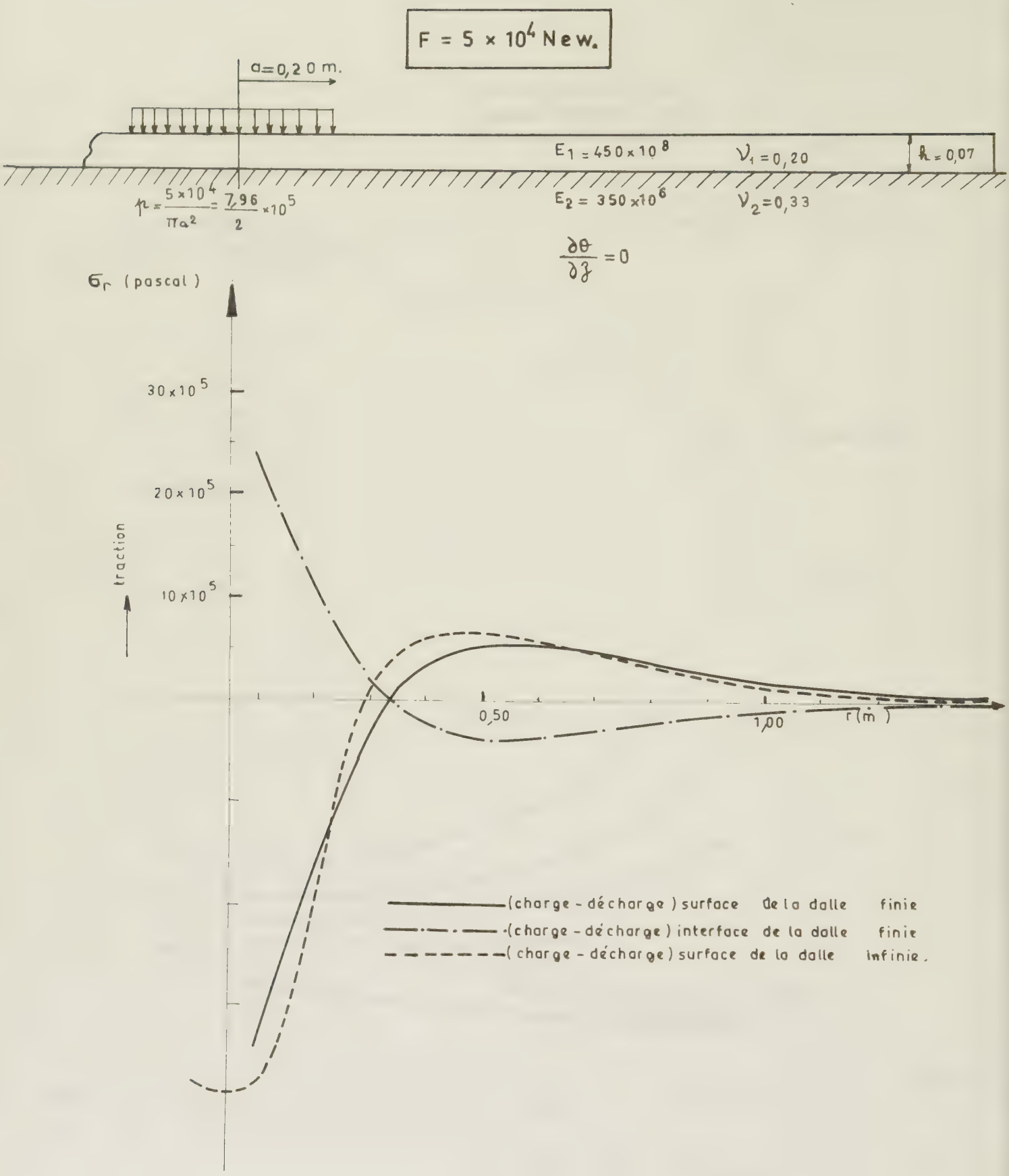


FIGURE 15 - REPARTITIONS DES (σ_r) DES DALLES MINCES.

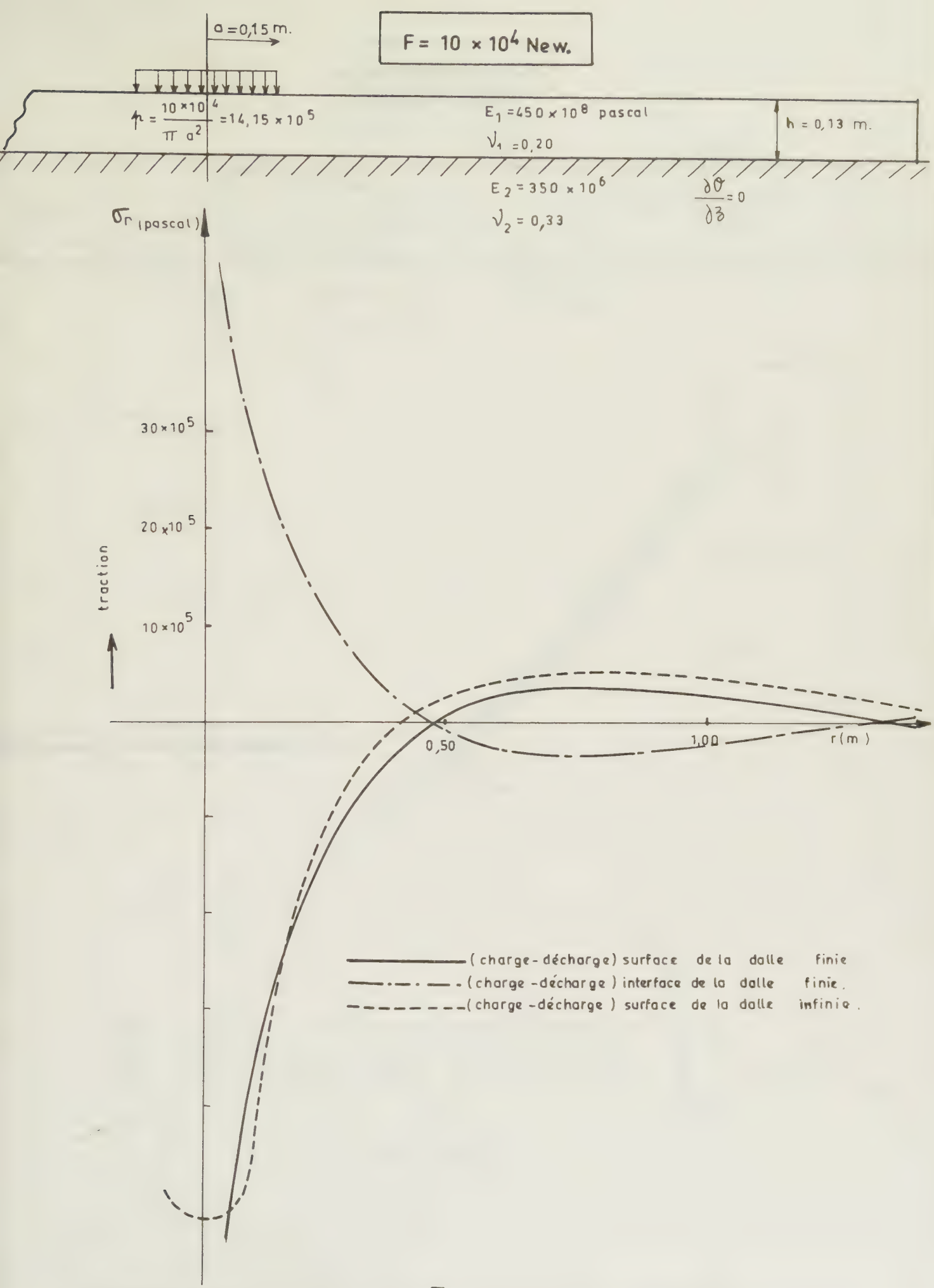


FIGURE 16 - REPARTITIONS DES (σ_r) DES DALLES MOYENNES

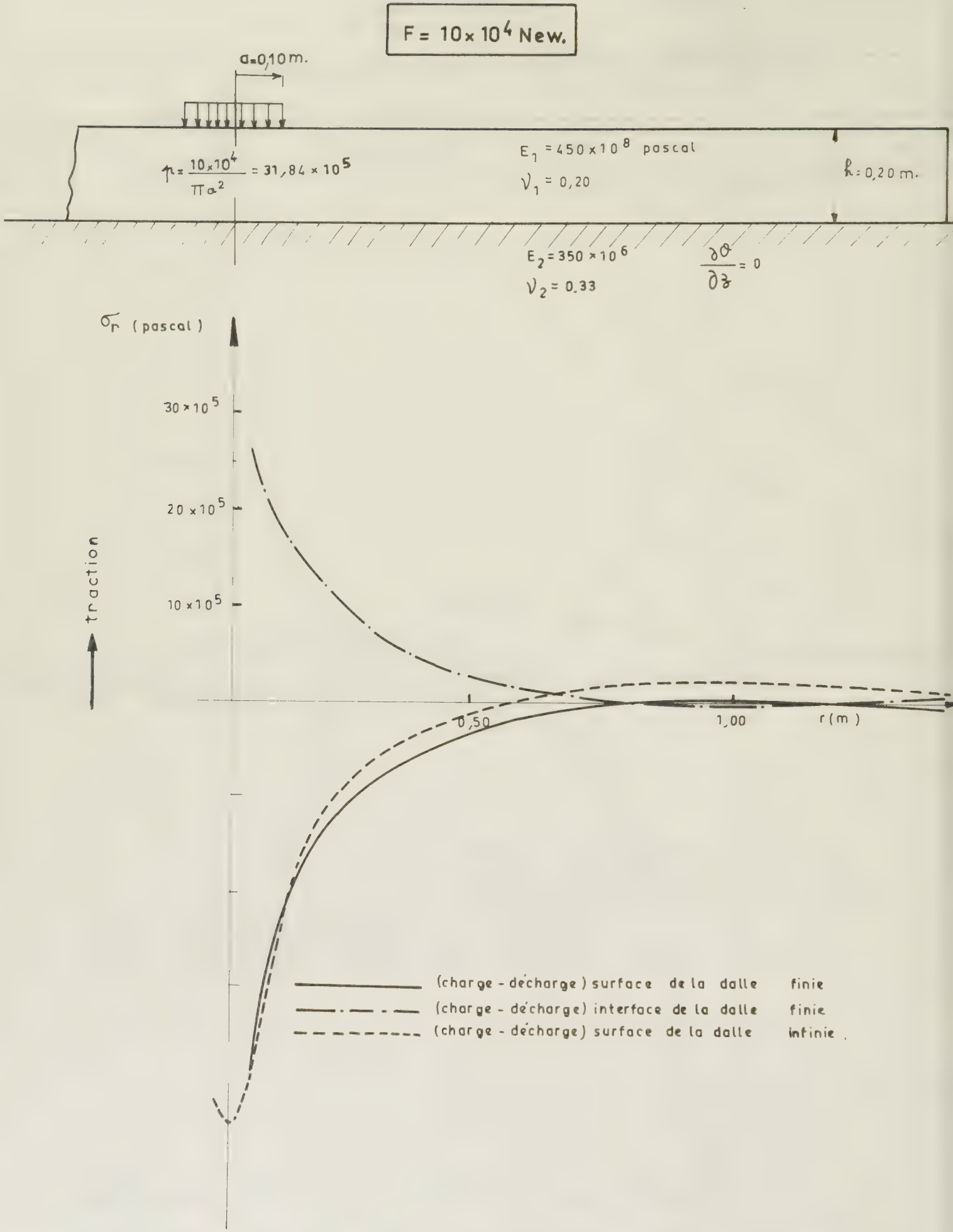
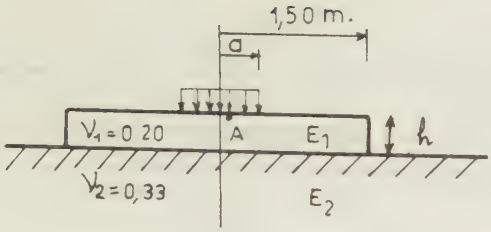


FIGURE 17 - REPARTITIONS DES (σ_r) DES DALLES EPAISSES -

$F = 10 \times 10^4$ New.



$p = \frac{F}{\pi a^2}$

$K_\circ = \frac{E_1}{E_2}$

$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$r_A = 0,055$ m.

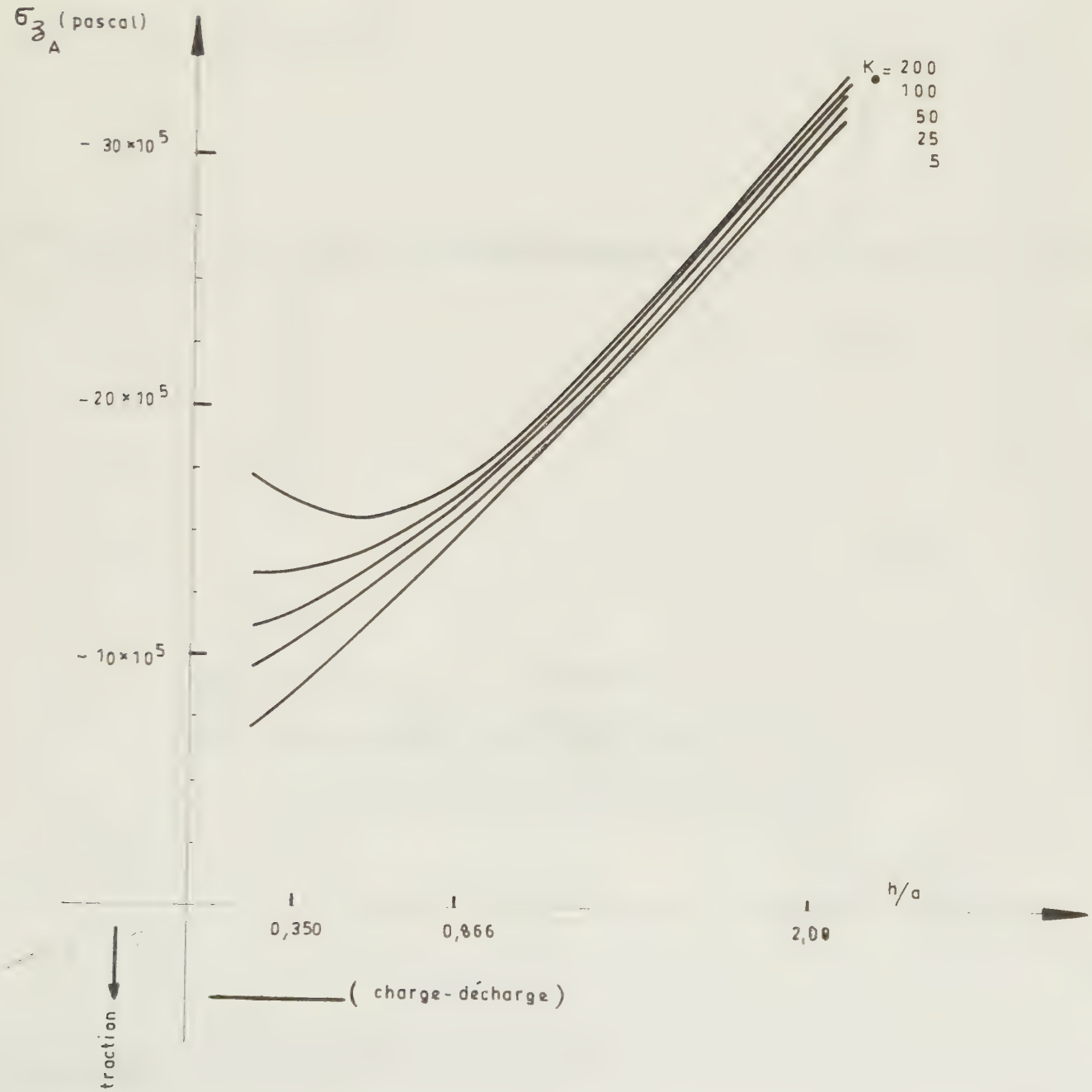


FIGURE 18 - VARIATIONS DES (σ_z , $\frac{h}{a}$) AUX CENTRES DES DALLES FINIES -

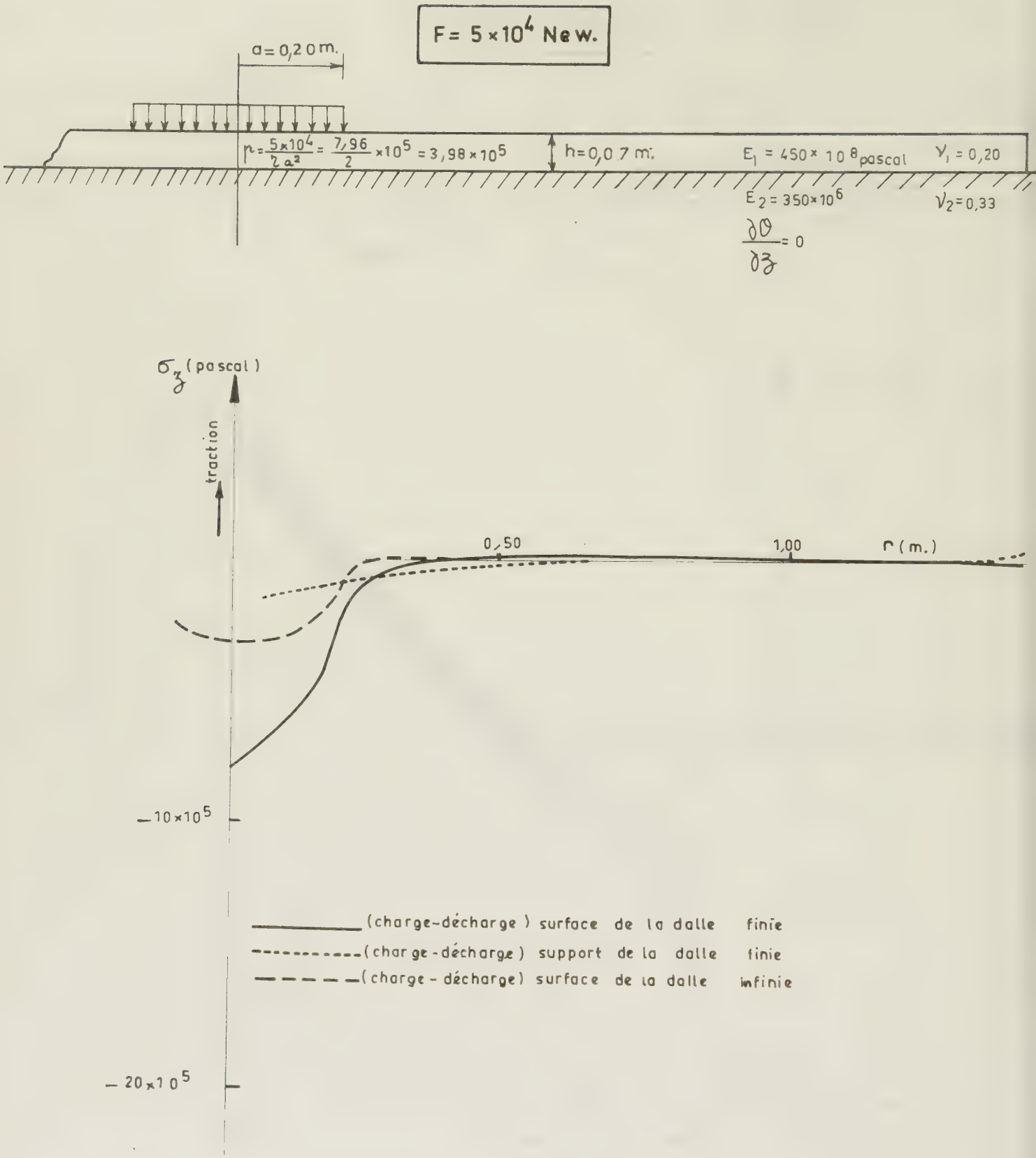


FIGURE 19 - REPARTITIONS DES (σ_z) AUX SURFACES DES DALLES MINCES -

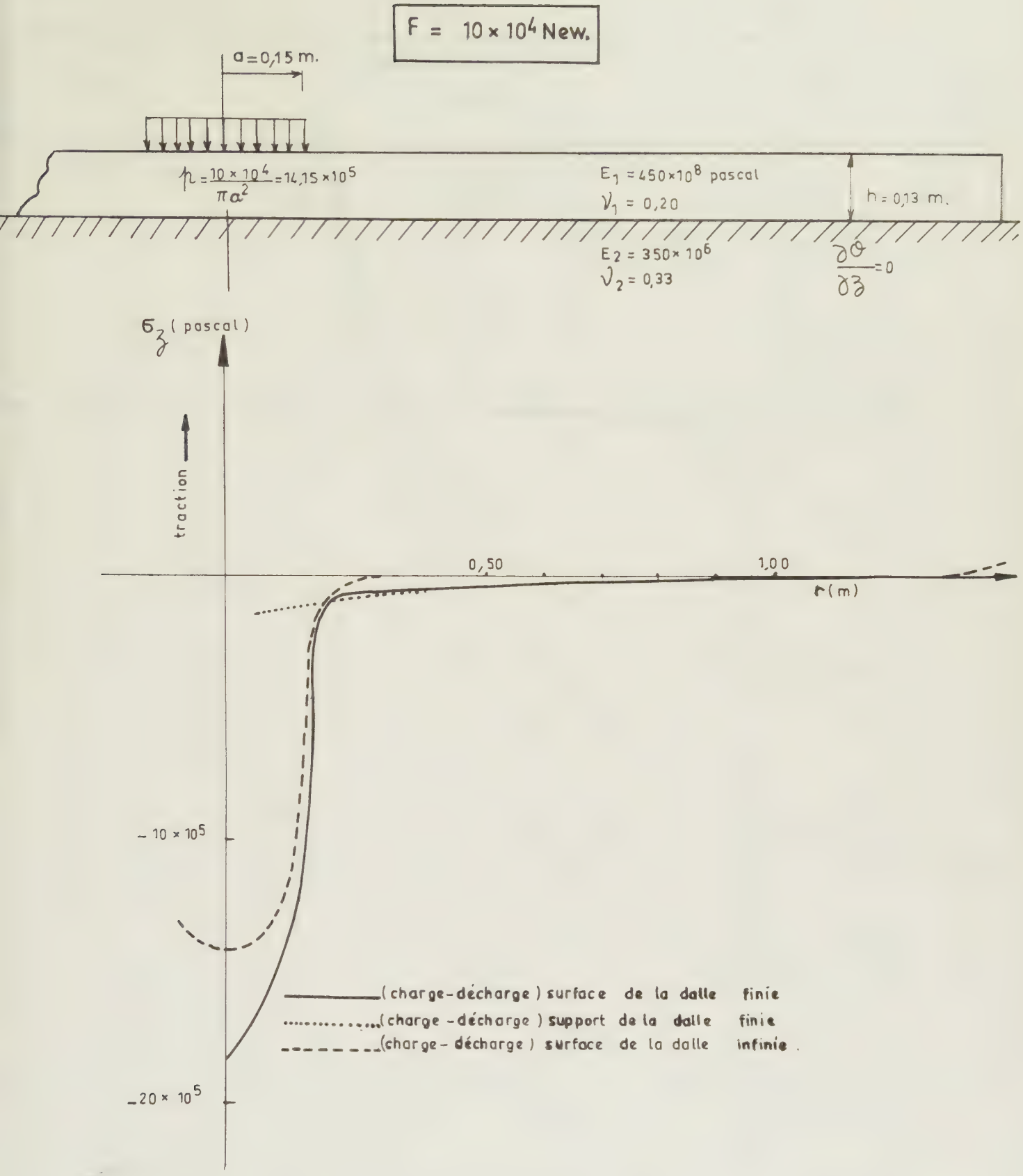


FIGURE 20 - REPARTITIONS DES (σ_z) AUX SURFACES DES DALLES MOYENNES.

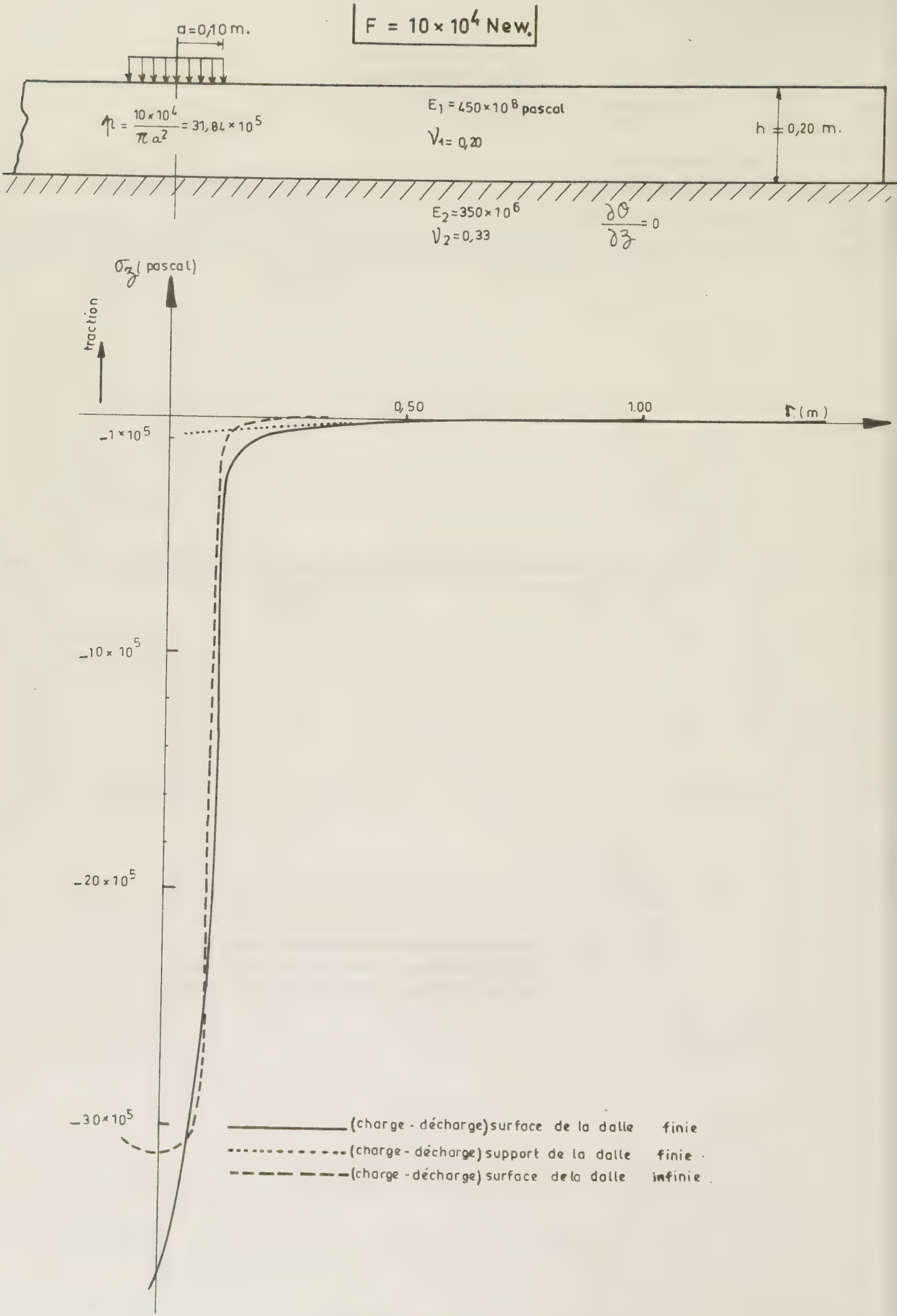


FIGURE 21 - REPARTITIONS DES (σ_z) AUX SURFACES DES DALLES EPAISSES

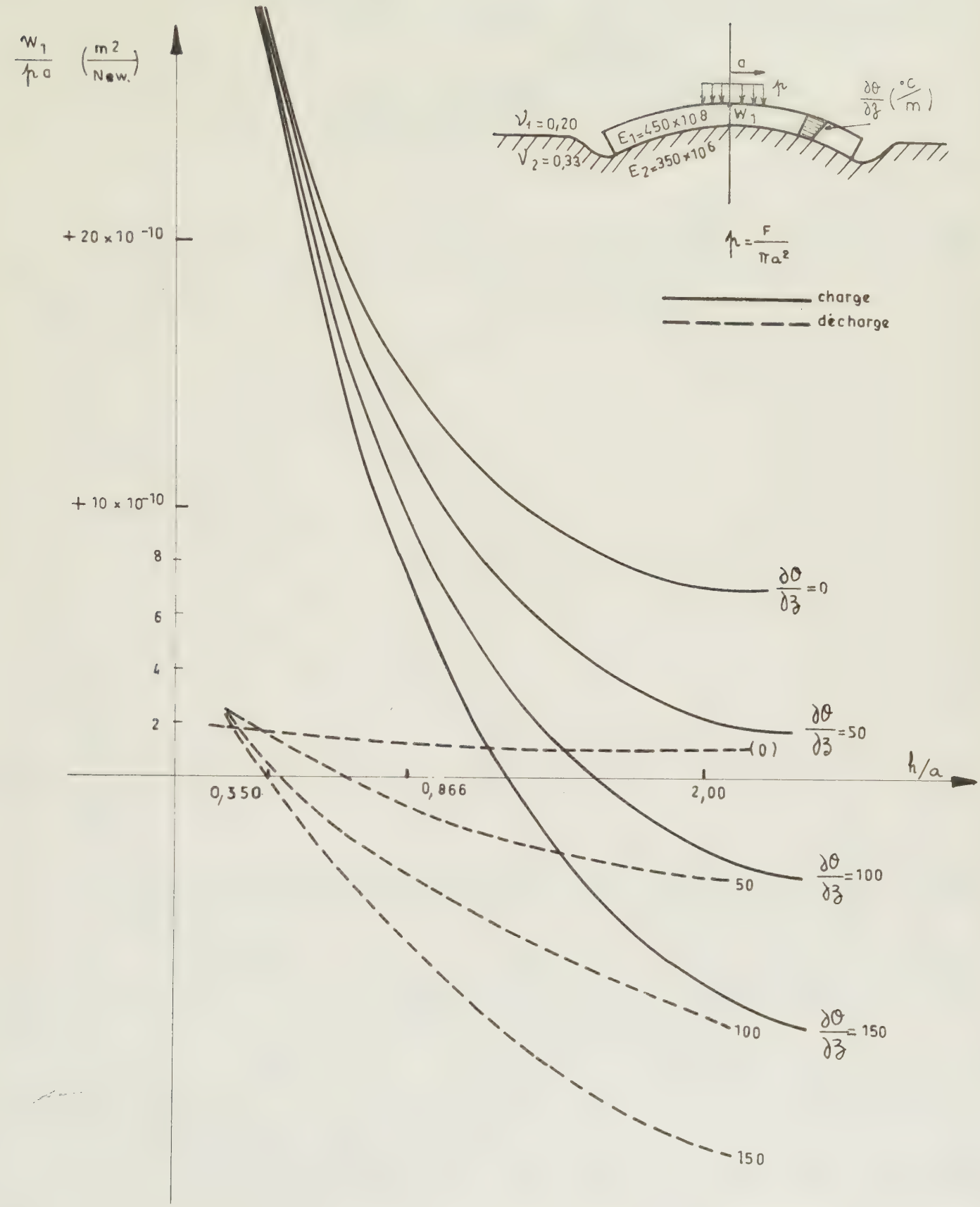


FIGURE 22- VARIATIONS DES $\left(\frac{w_1}{fa}, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES FINIES.

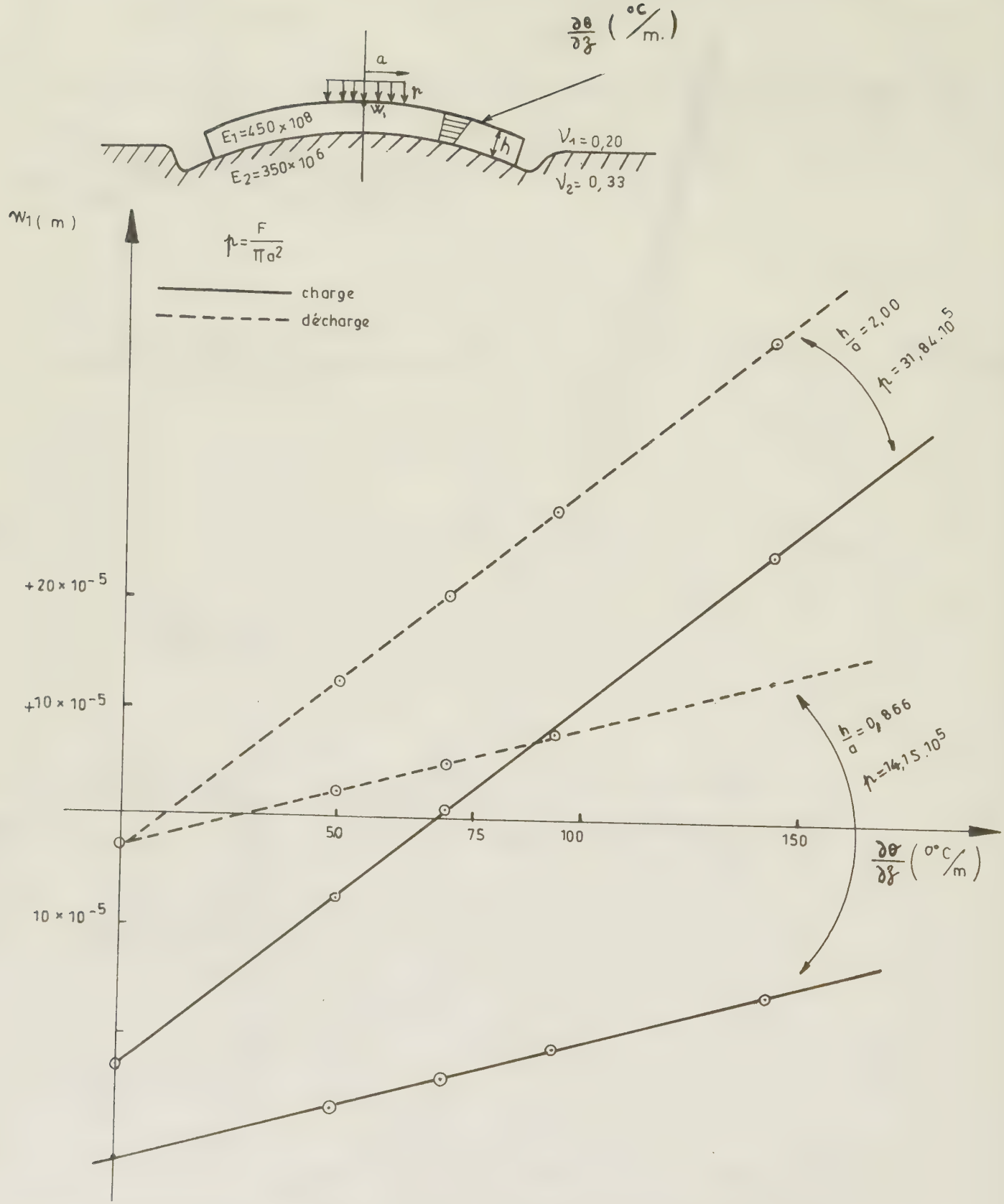


FIGURE 23 -VARIATIONS DES $\left(w_1, \frac{\partial\theta}{\partial z}\right)$ DES DALLES FINIES -

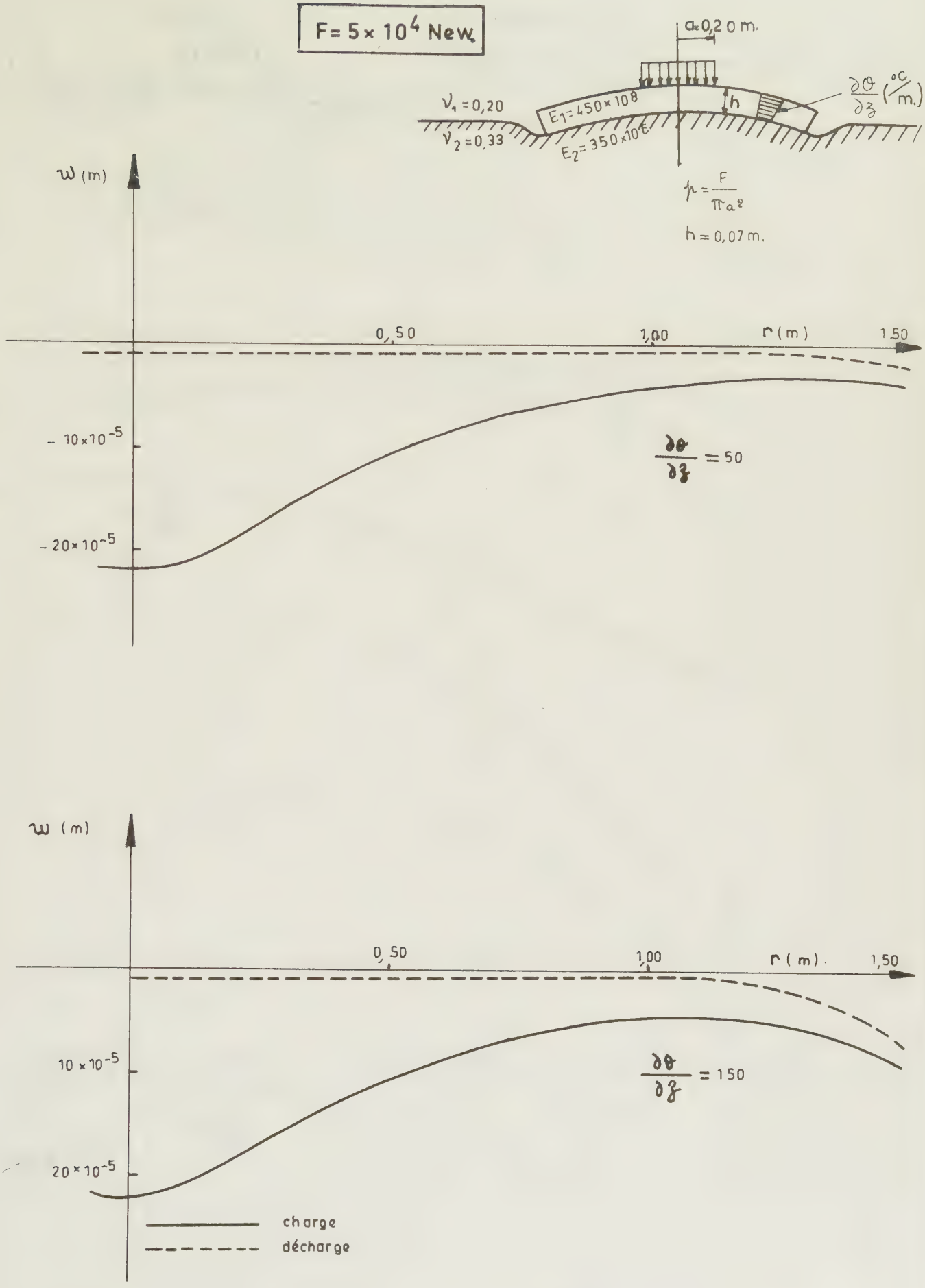


FIGURE 24 - REPARTITIONS DES (w) AUX SURFACES DES DALLES FINIES .

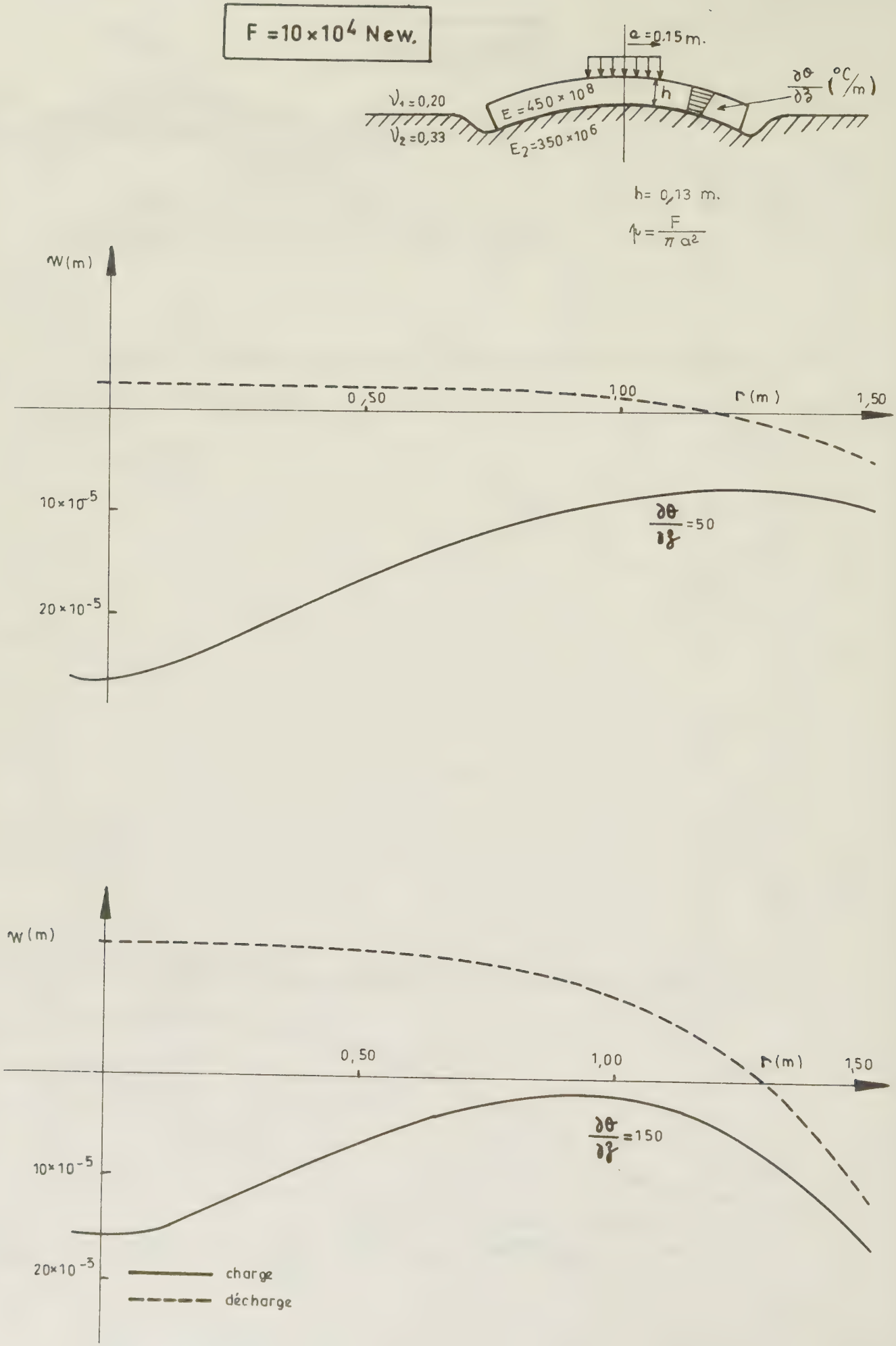


FIGURE 25 - REPARTITIONS DES (w) AUX SURFACES DES DALLES FINIES -

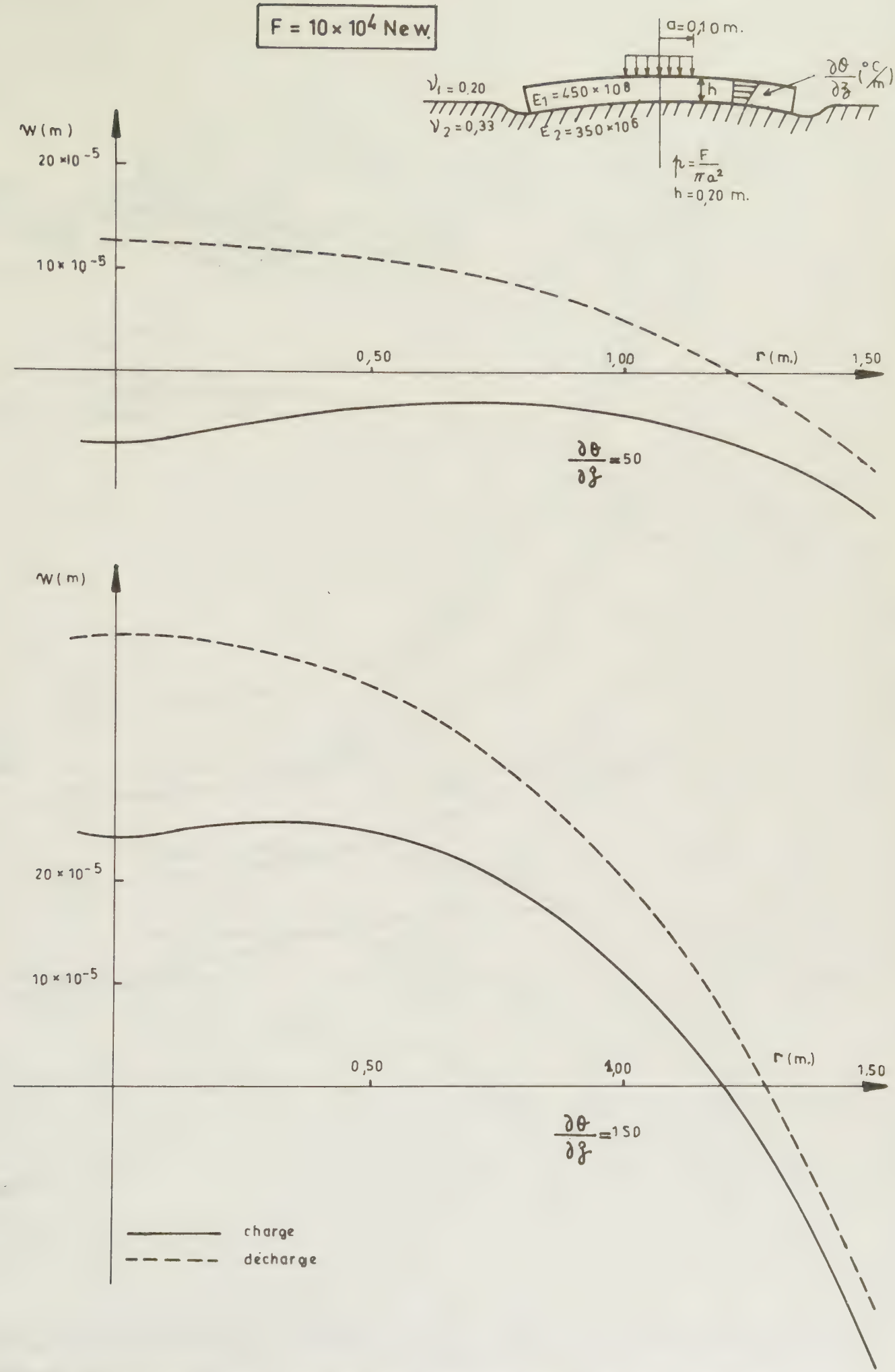


FIGURE 26 - REPARTITIONS DES (W) AUX SURFACES DES DALLES FINIES -

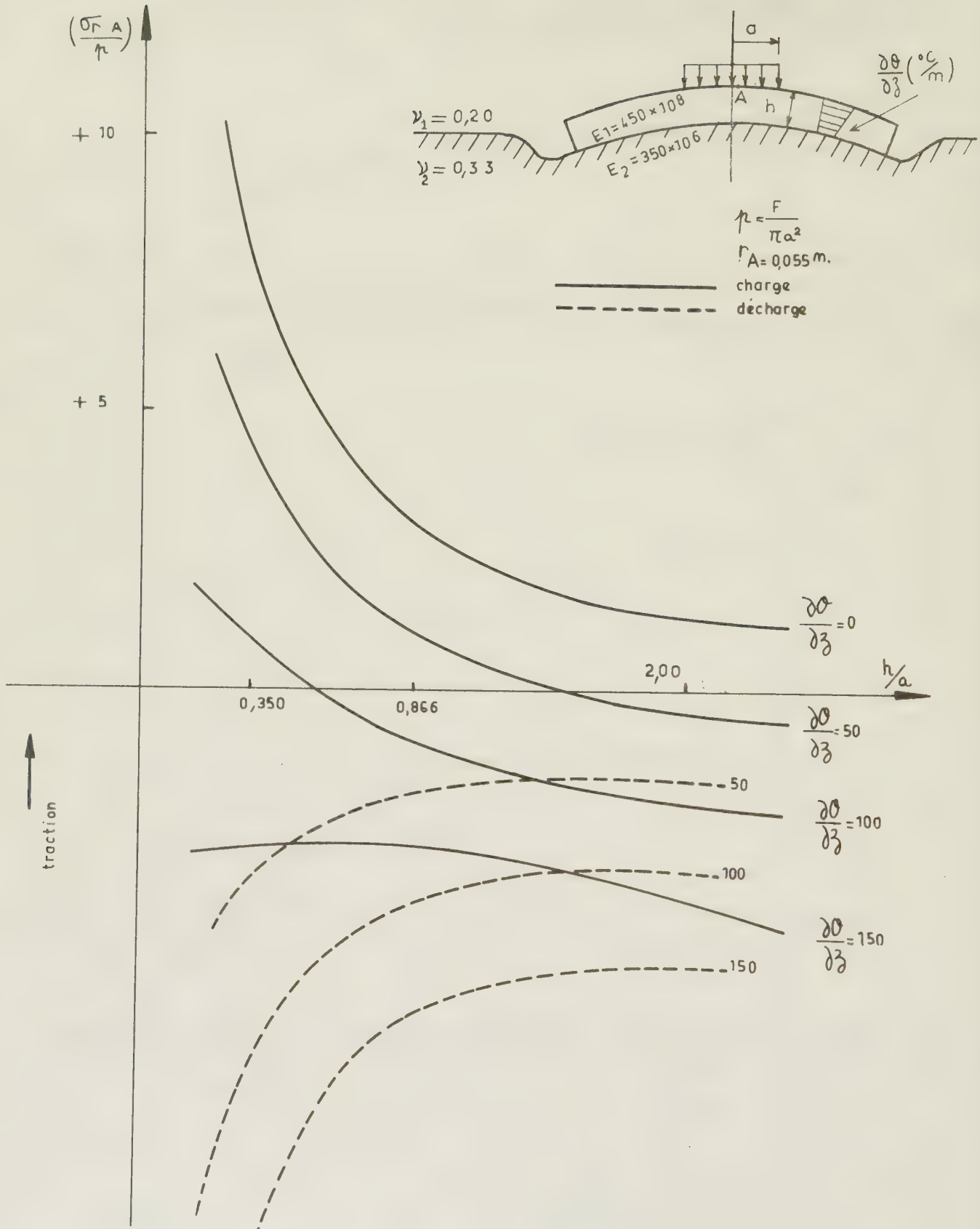


FIGURE 27 - VARIATIONS DES $\left(\frac{\sigma_r}{p}, \frac{h}{a}\right)$ AUX CENTRES DES DALLES FINIES .

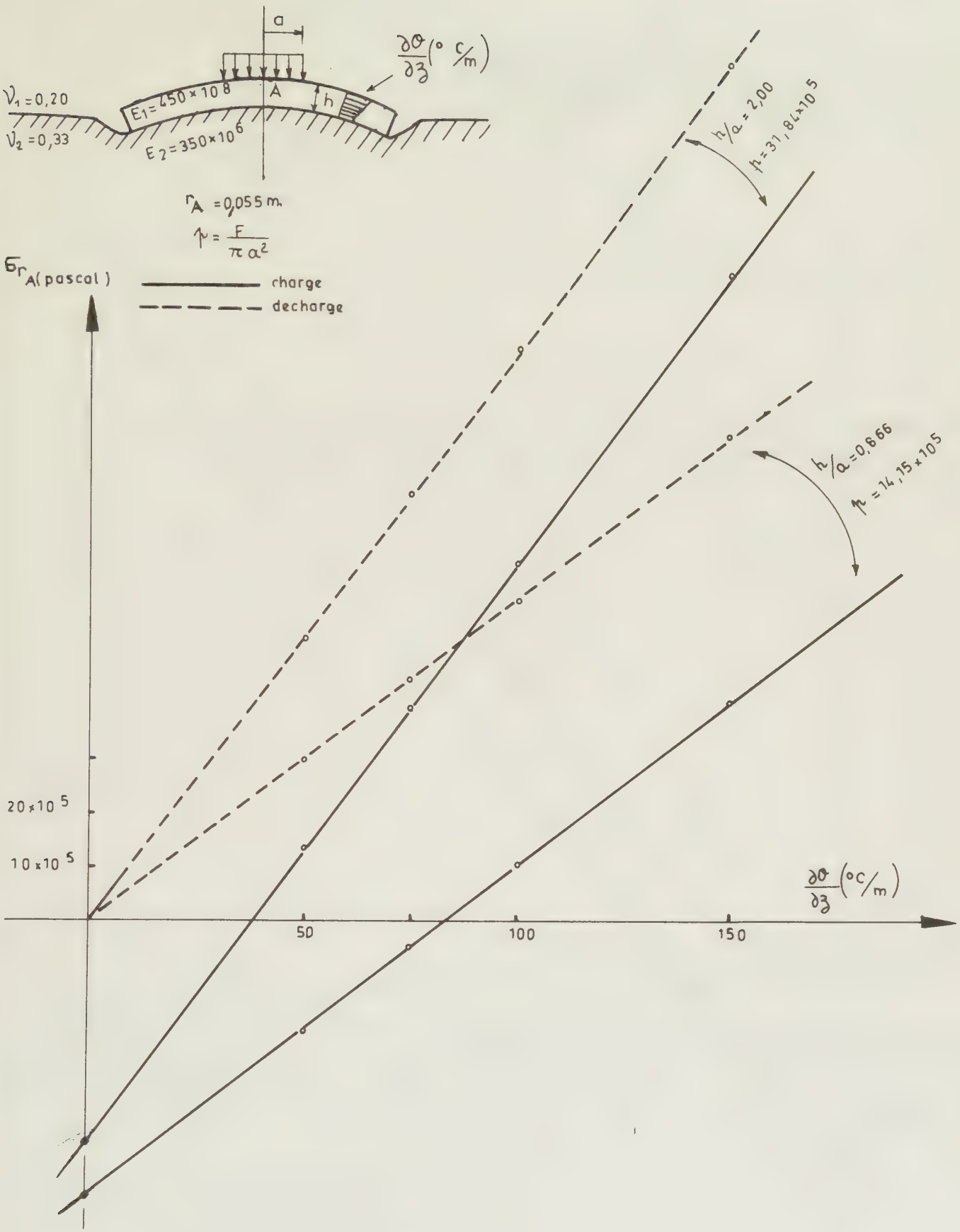


FIGURE 28 -VARIATIONS DES $\left(\sigma_r , \frac{\partial \theta}{\partial z}\right)$ DES DALLES FINIES -

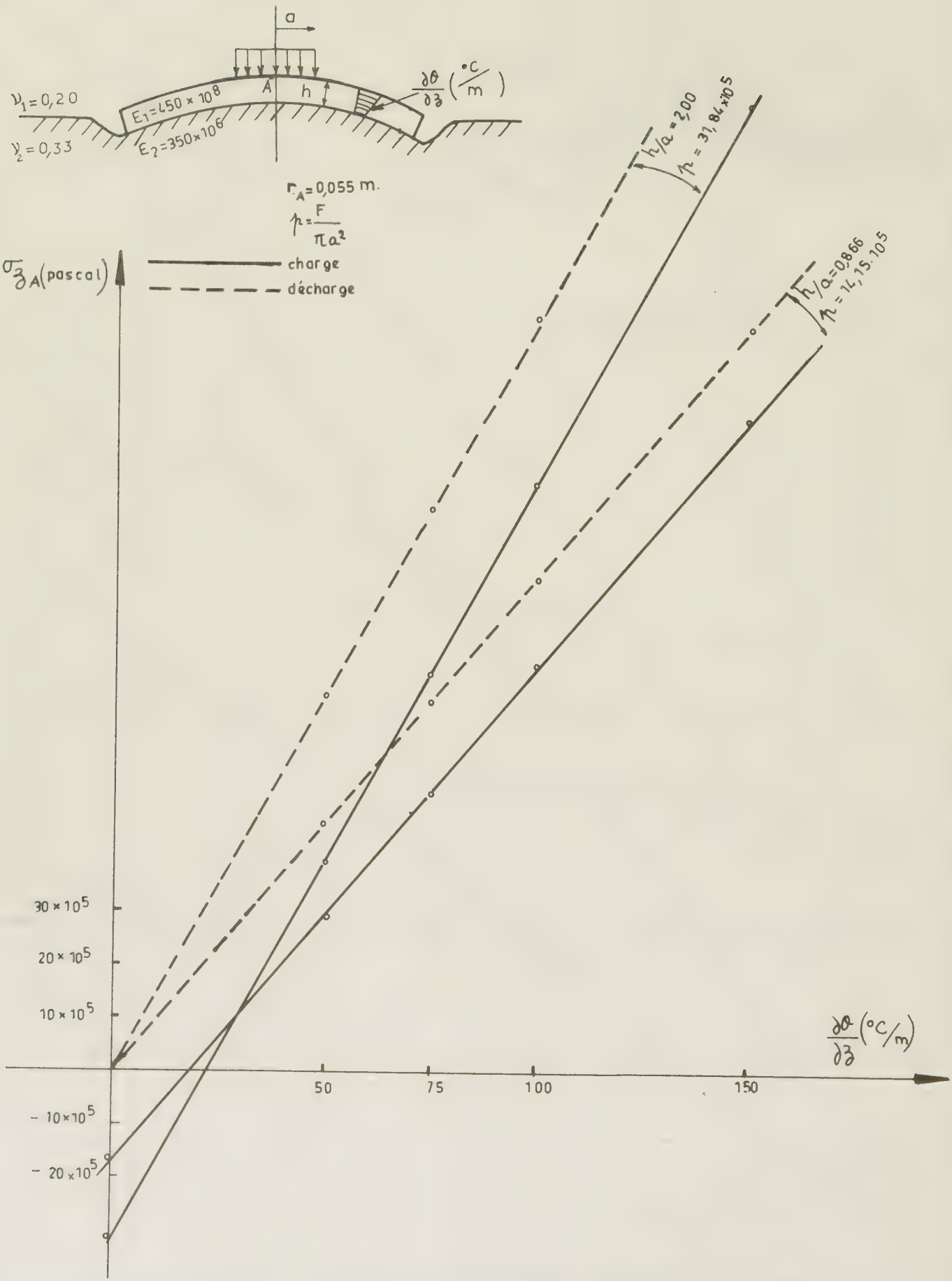


FIGURE 29- VARIATIONS $(\sigma_z, \frac{\partial\theta}{\partial z})$ DES DALLES FINIES -

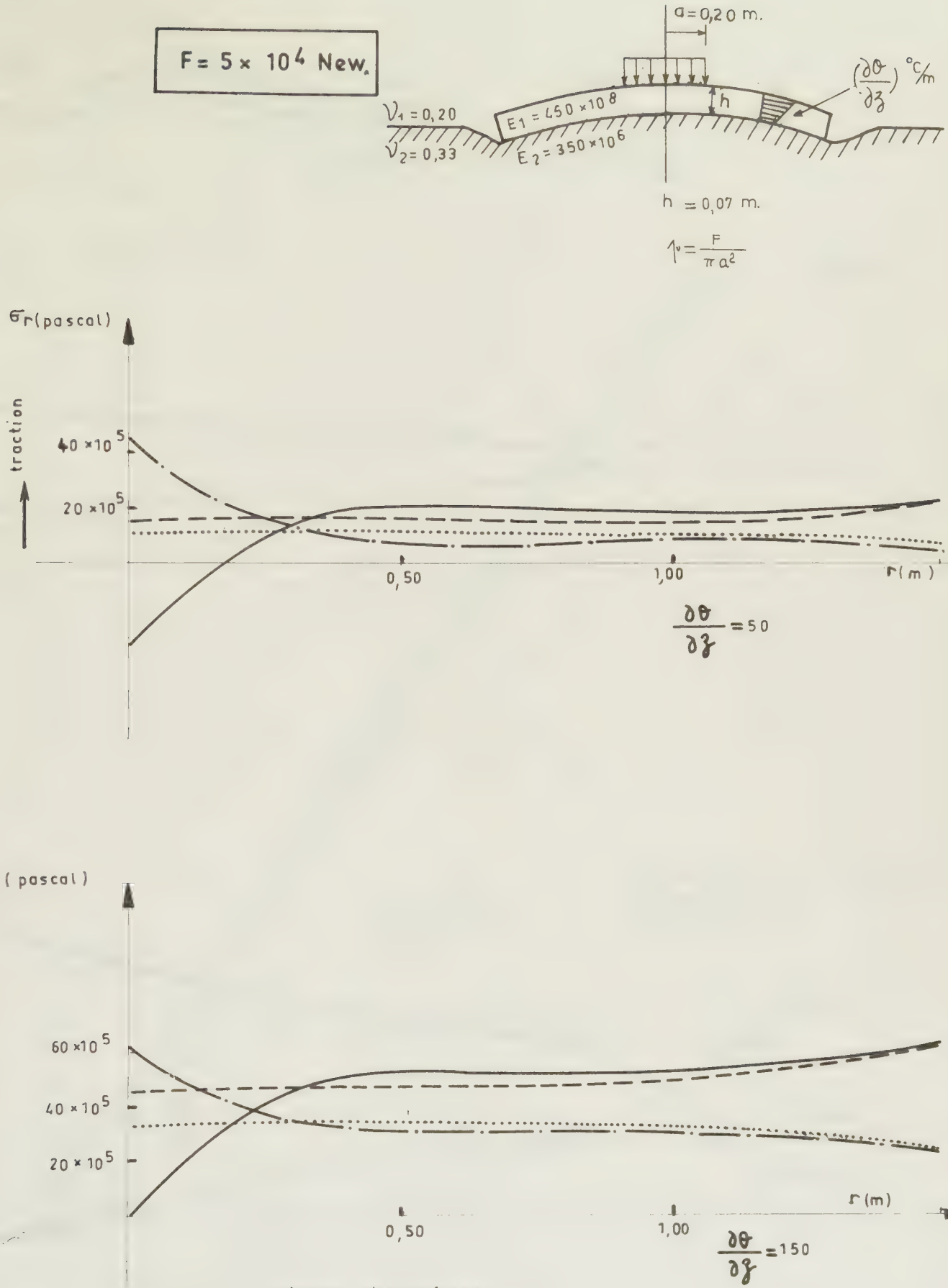


FIGURE 30

REPARTITIONS DES (σ_r) AUX SURFACES ET AUX INTERFACES DES DALLES FINIES.

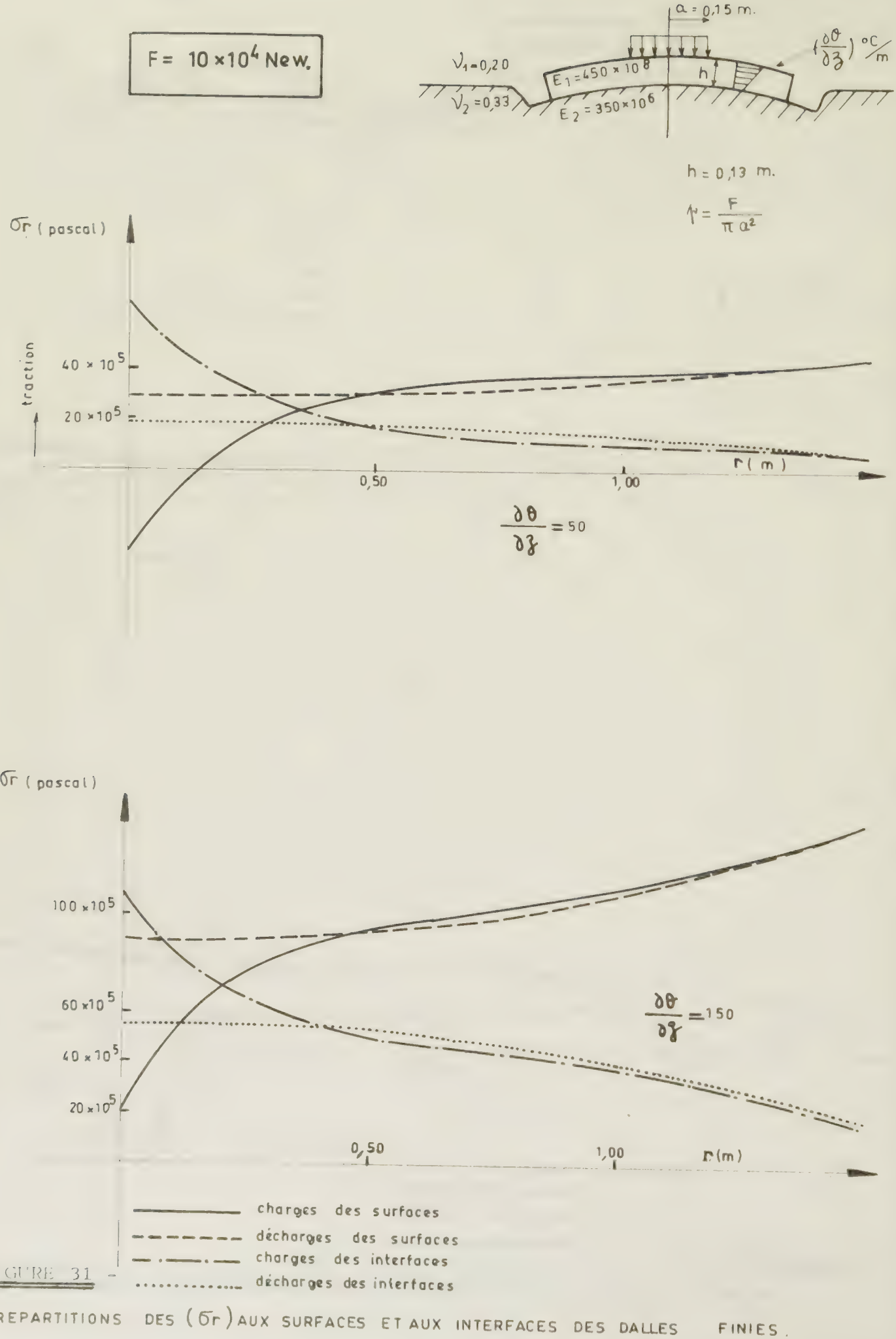


FIGURE 31 - REPARTITIONS DES (σr) AUX SURFACES ET AUX INTERFACES DES DALLES FINIES.

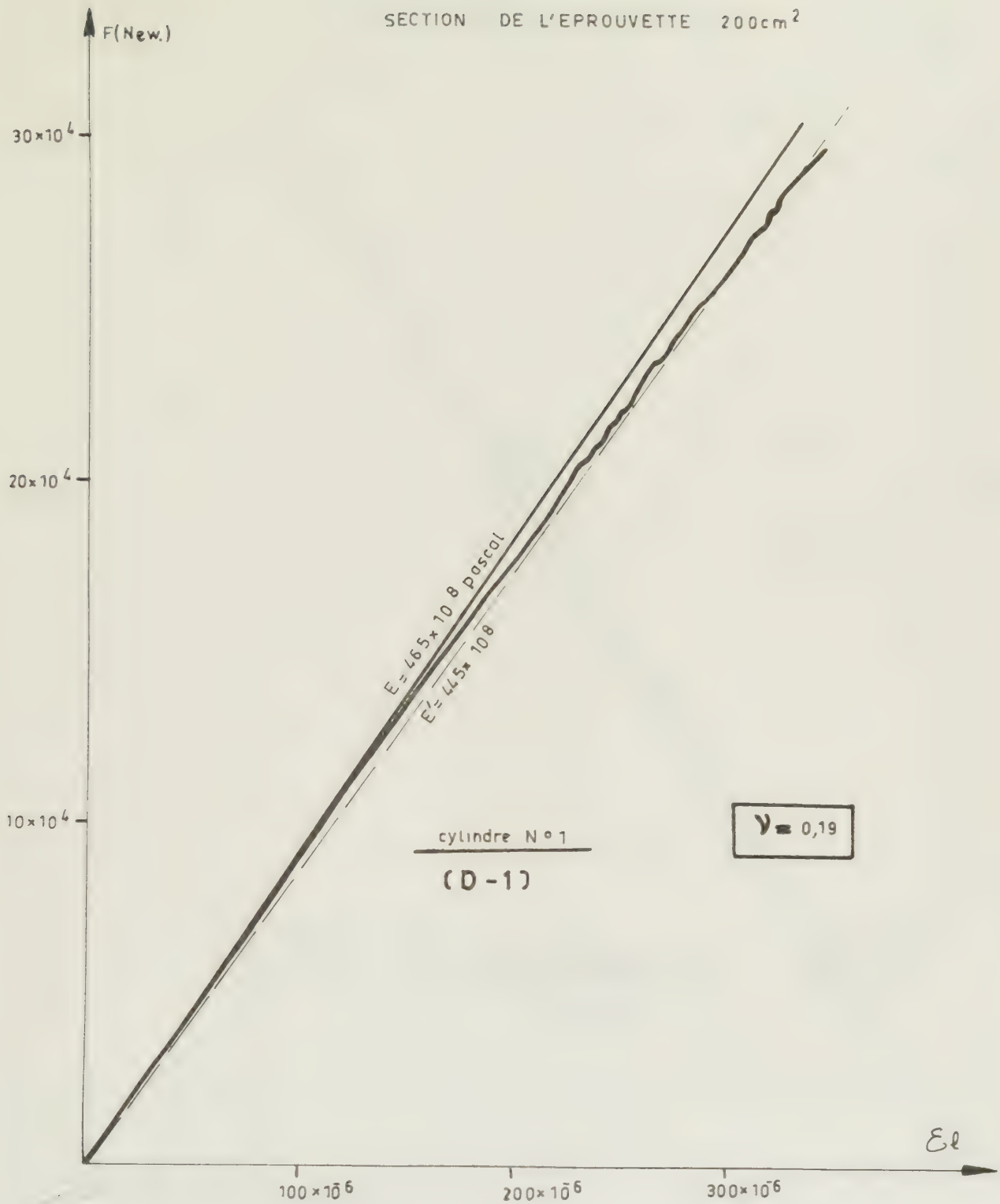


FIGURE 32 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON (D_1).

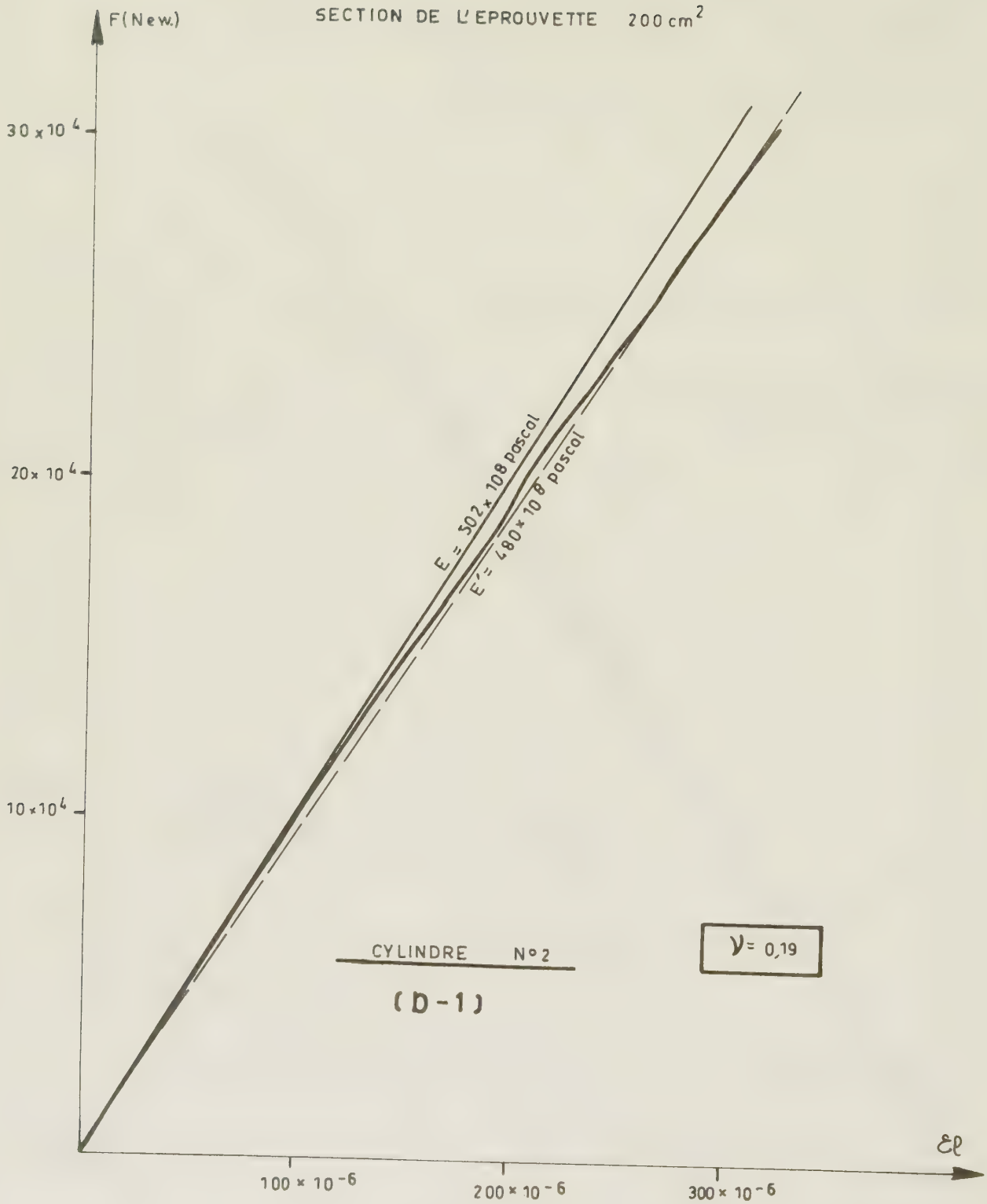


FIGURE 33 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE - DEFORMATION DU BETON (D_1)

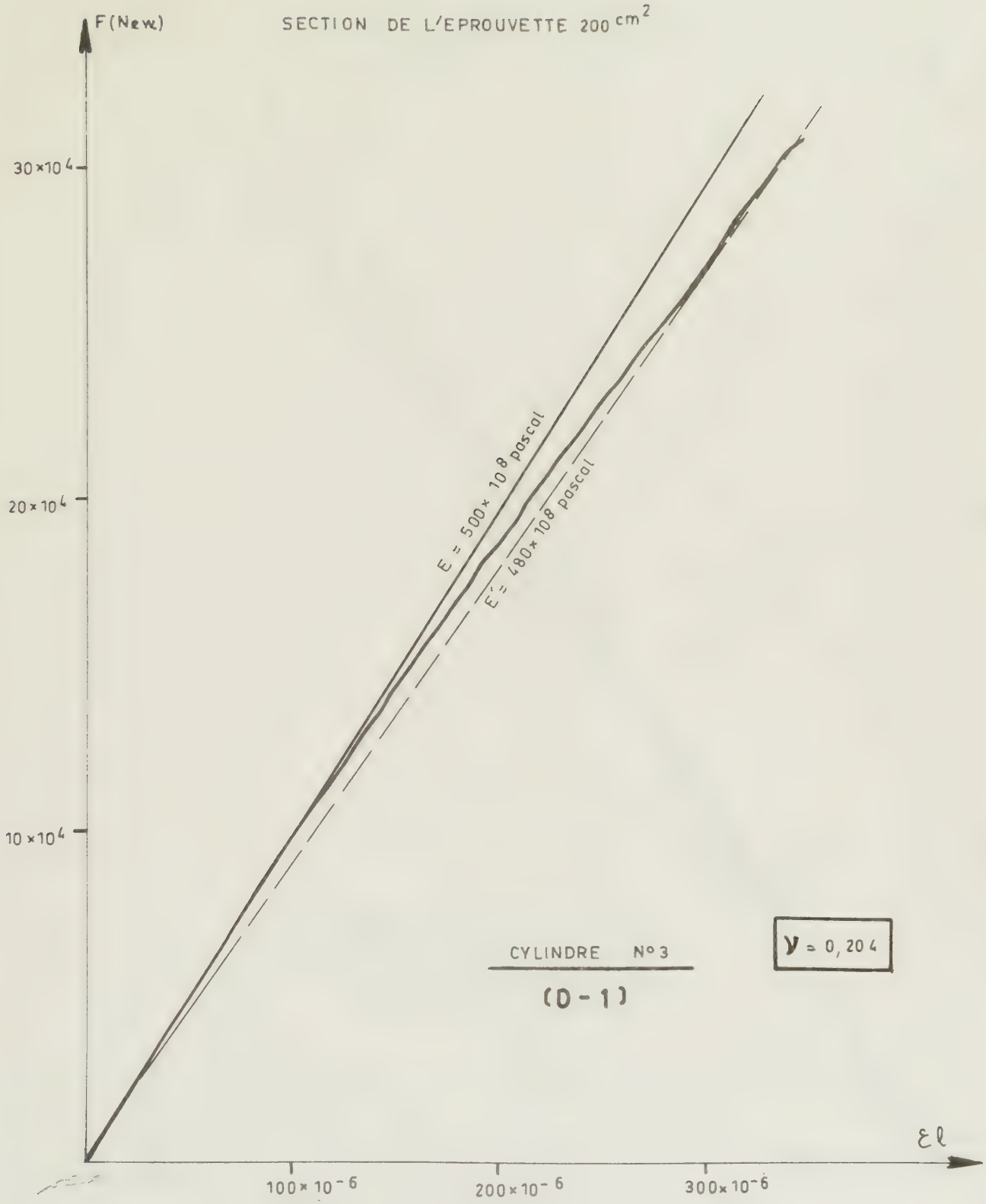


FIGURE 34 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON (D_1)

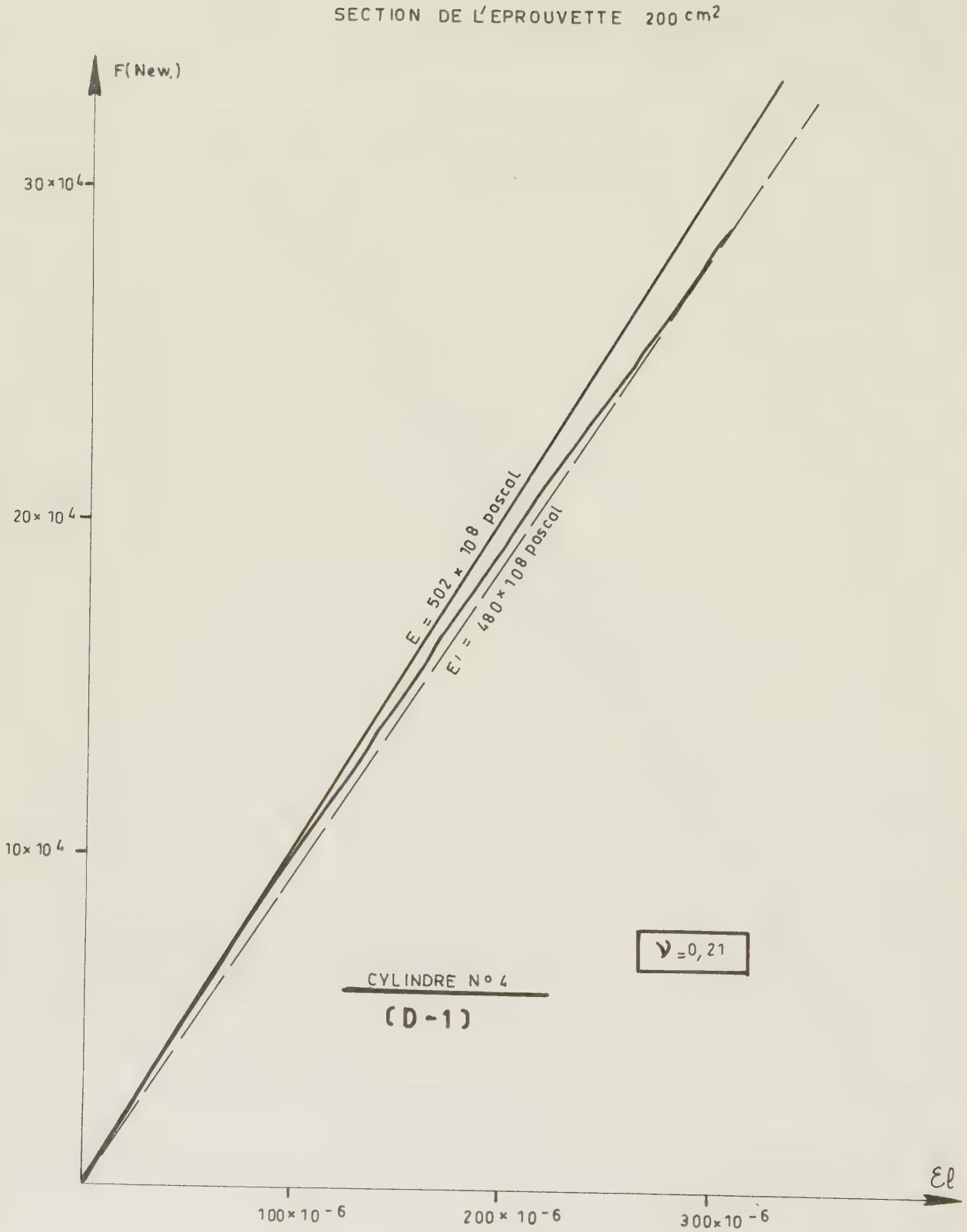


FIGURE 35 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE - DEFORMATION DU BETON (D_1)

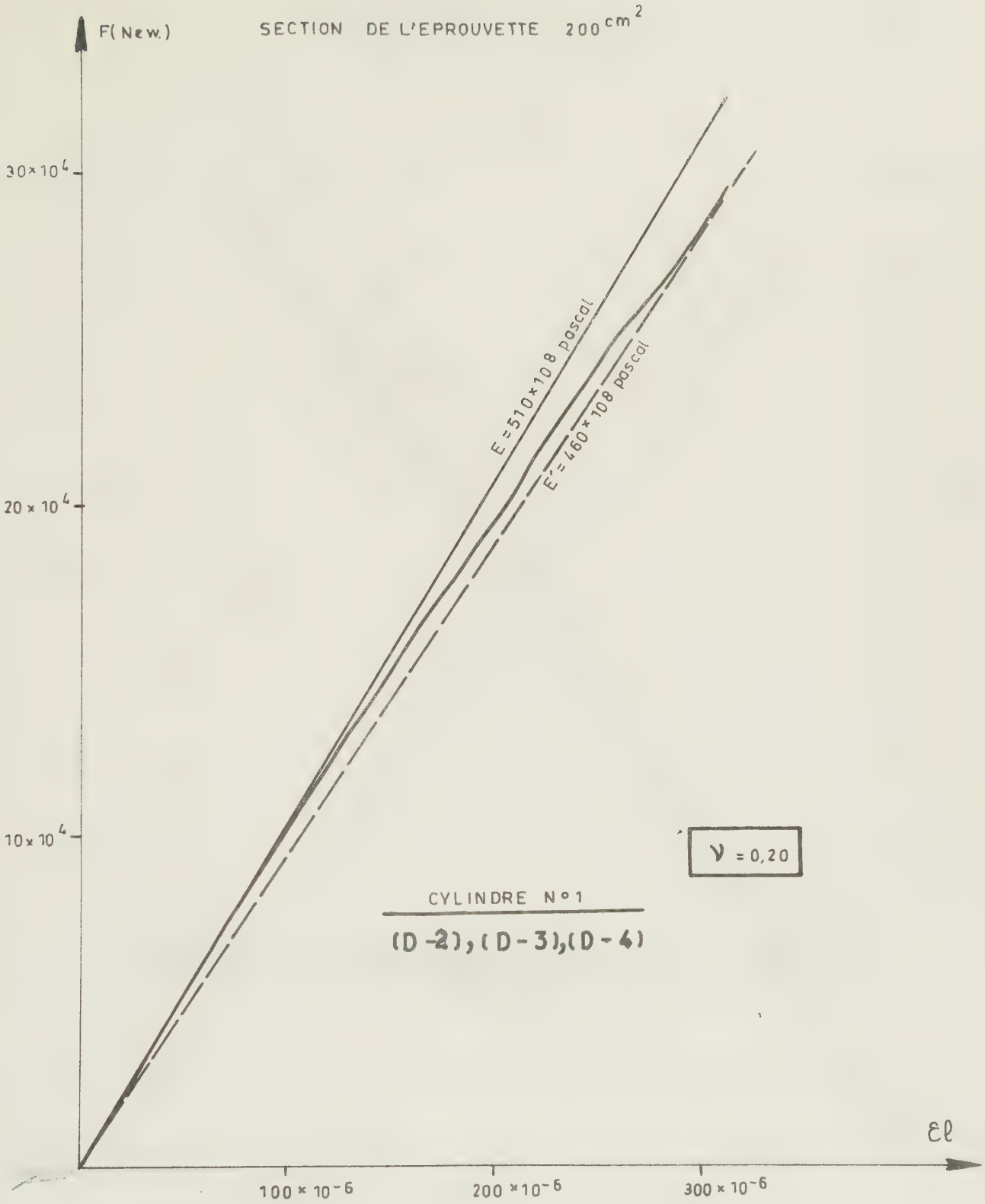


FIGURE 36 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON (D_2),(D_3),(D_4)

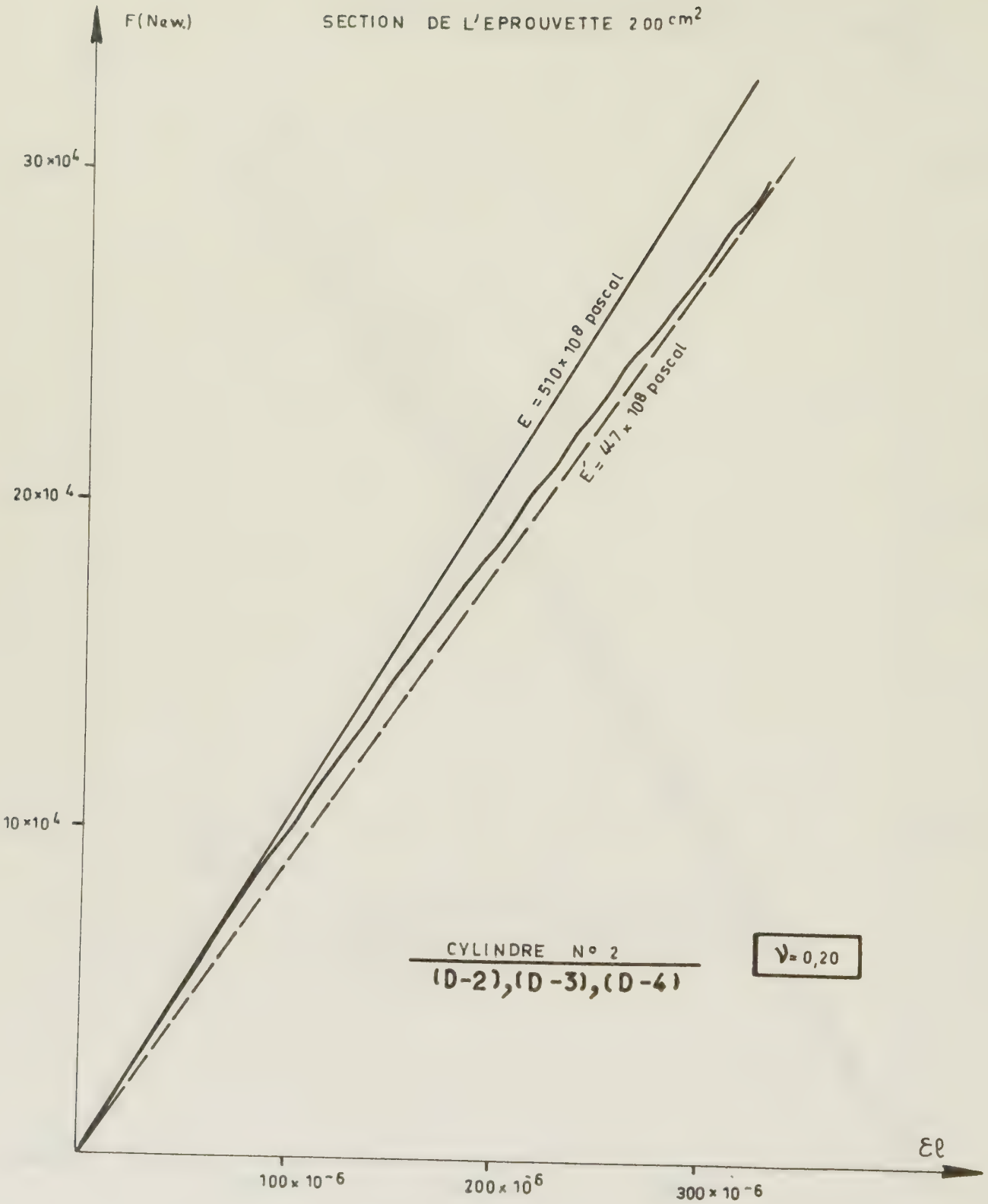


FIGURE 37 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE-DEFORMATION BETON

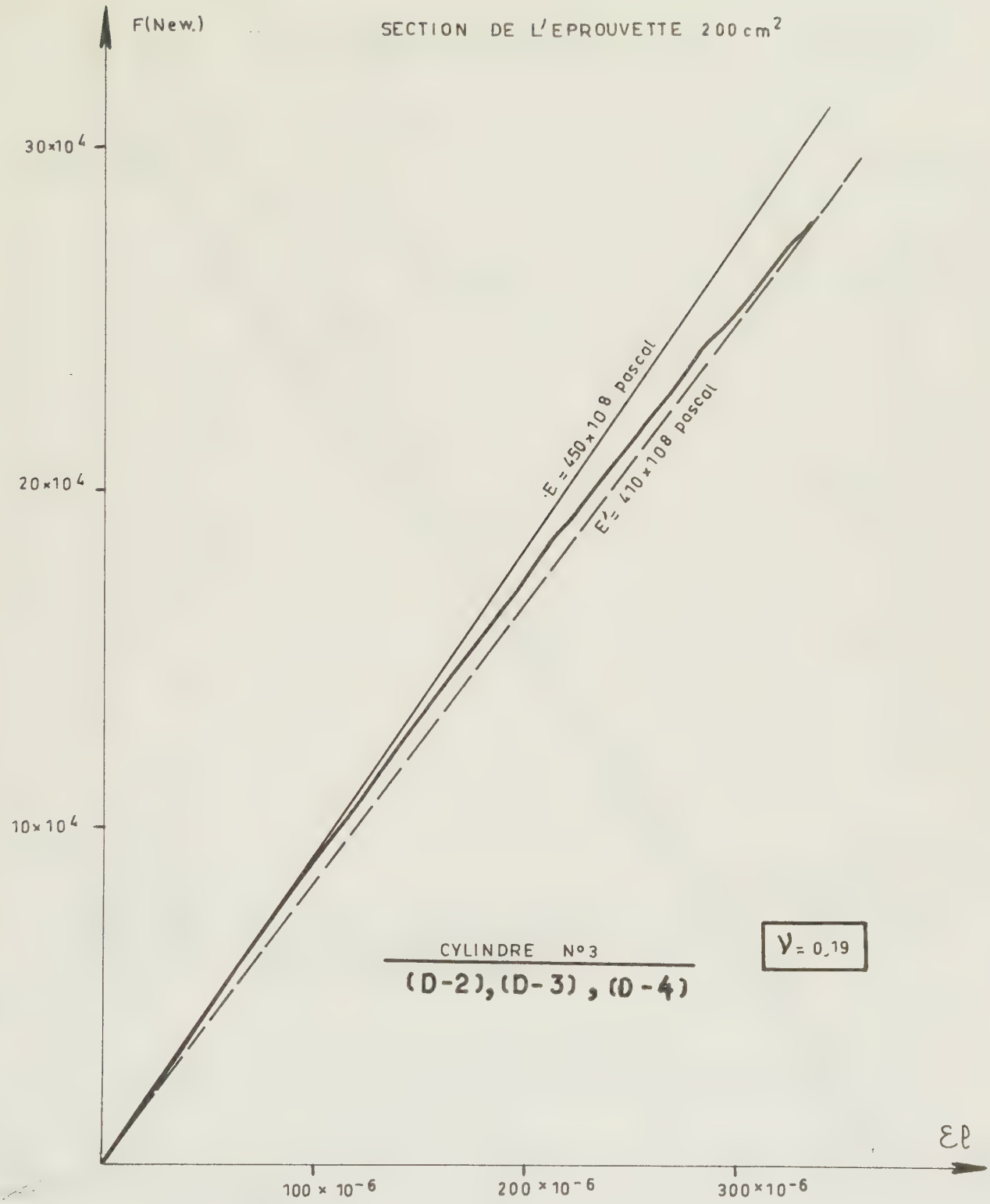


FIGURE 38 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE - DEFORMATION DU BETON

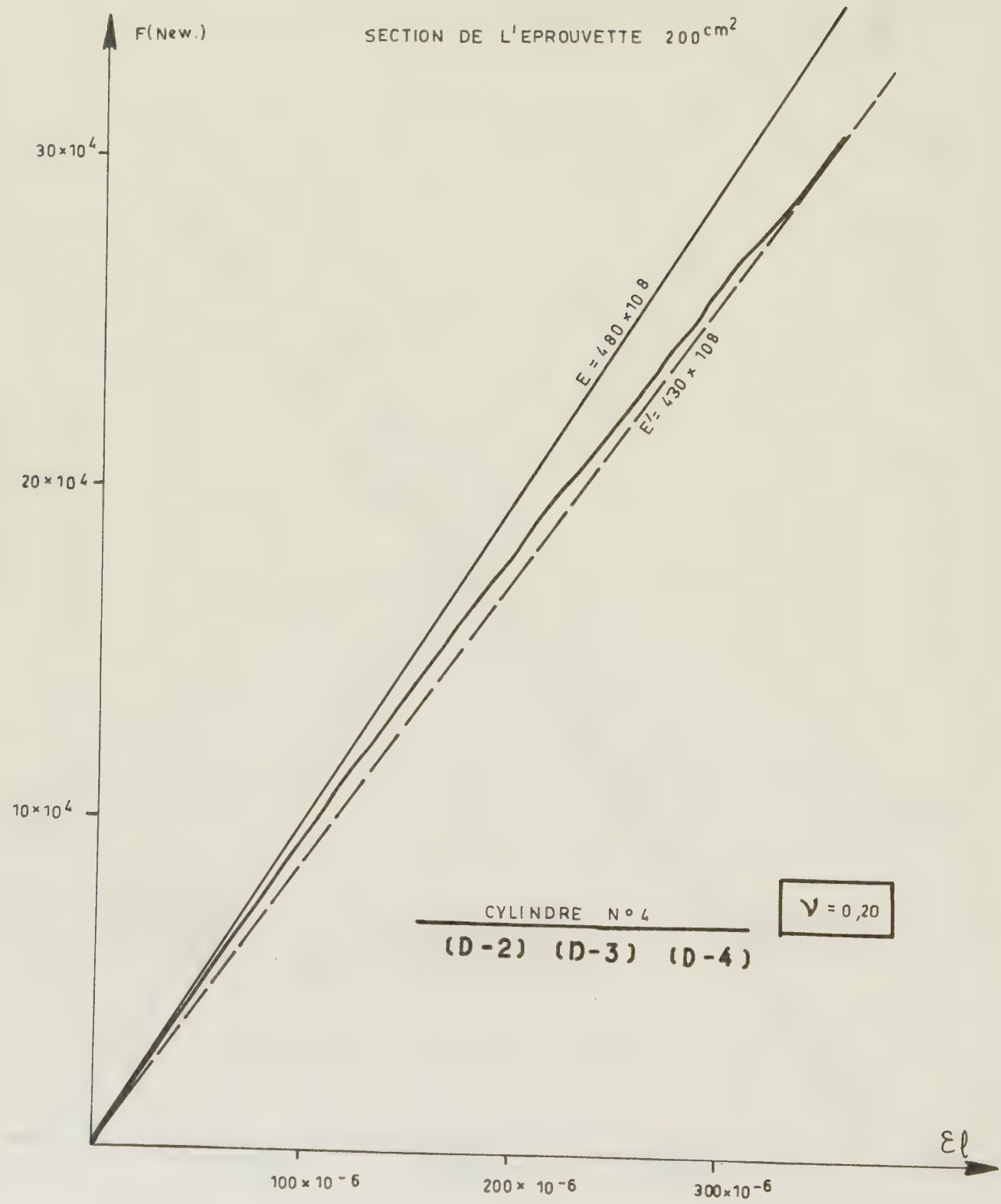


FIGURE 39 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON .

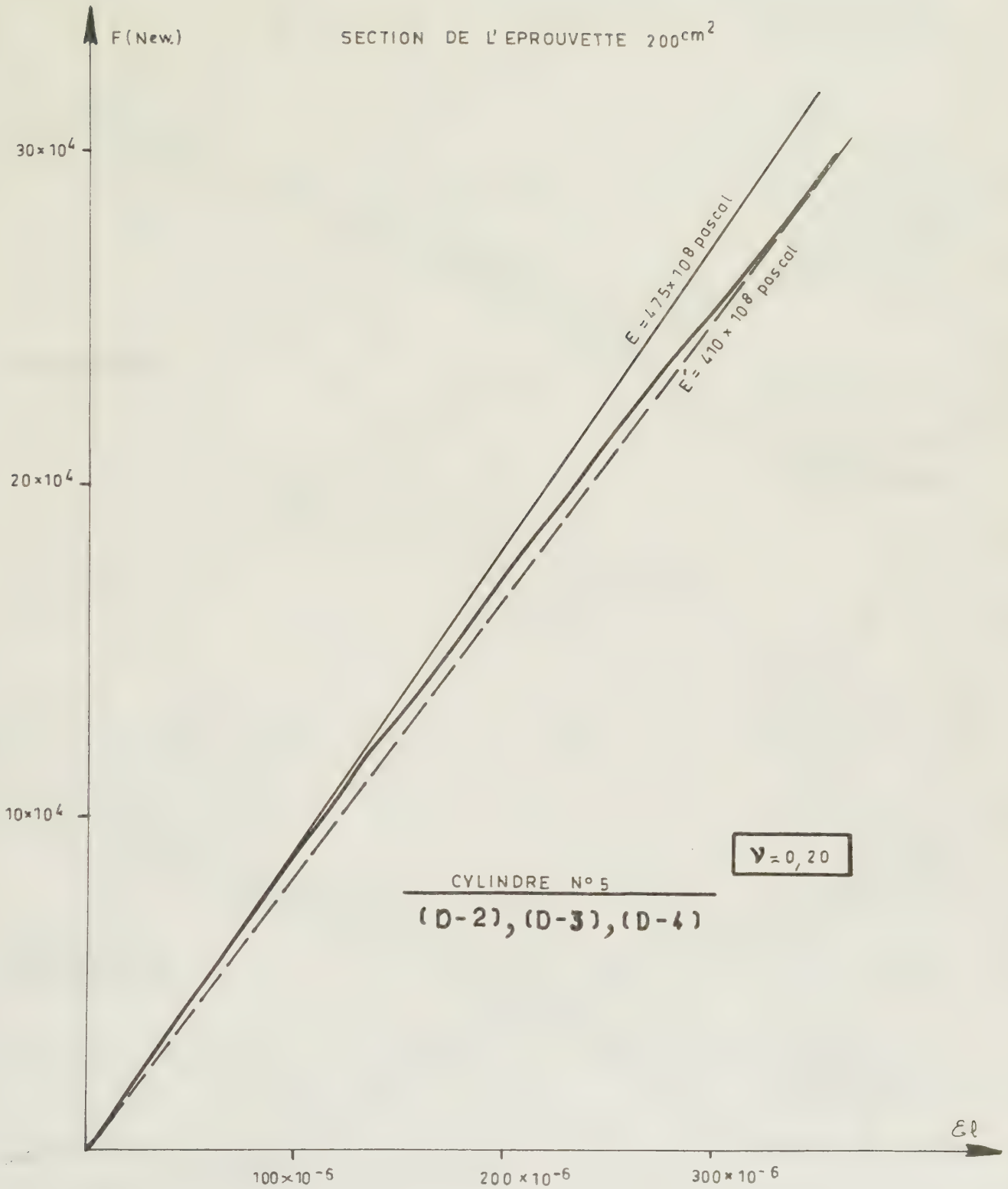


FIGURE 40 -

DIAGRAMME DE CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON

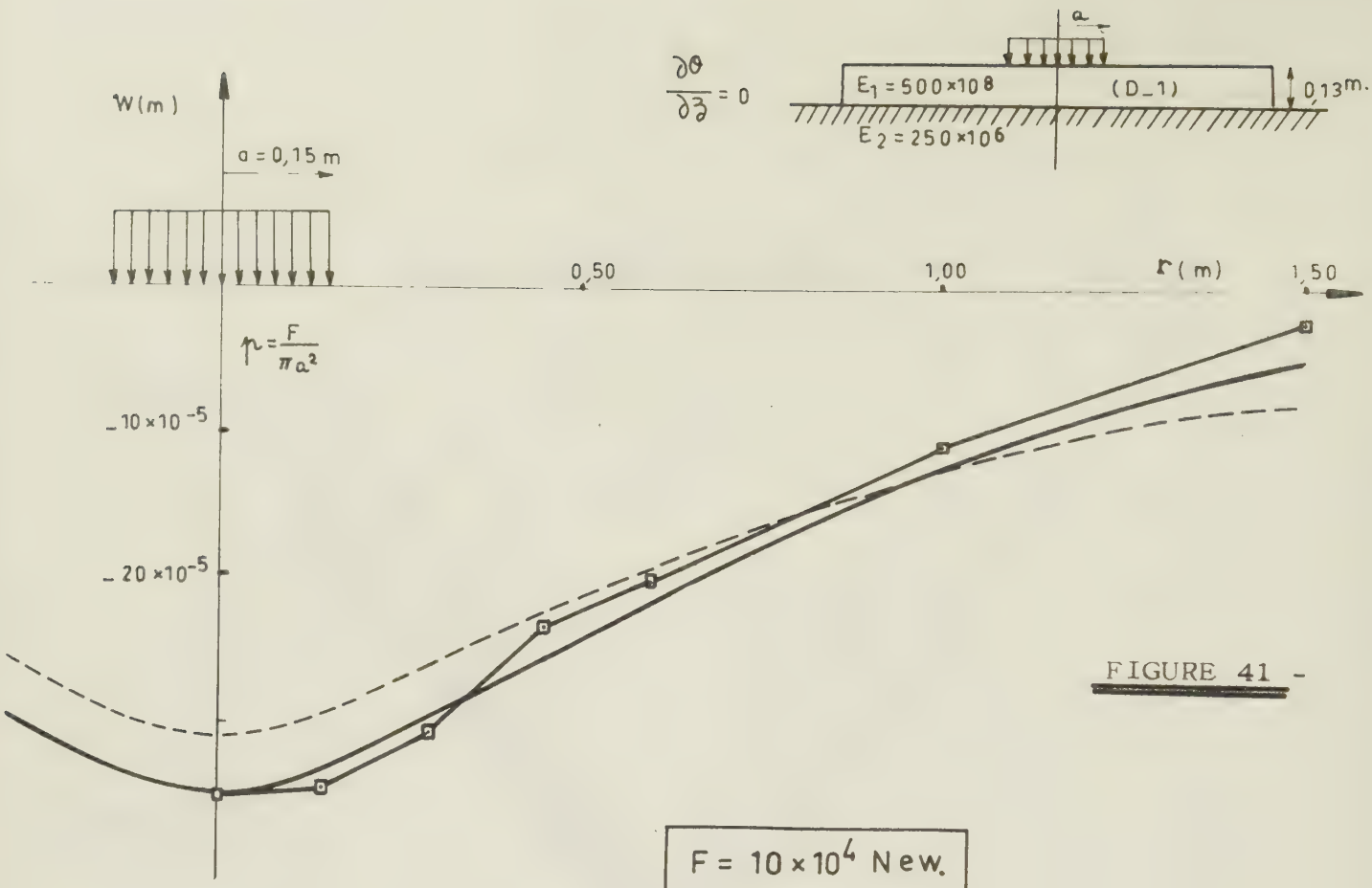


FIGURE 41 -

$F = 10 \times 10^4$ New.

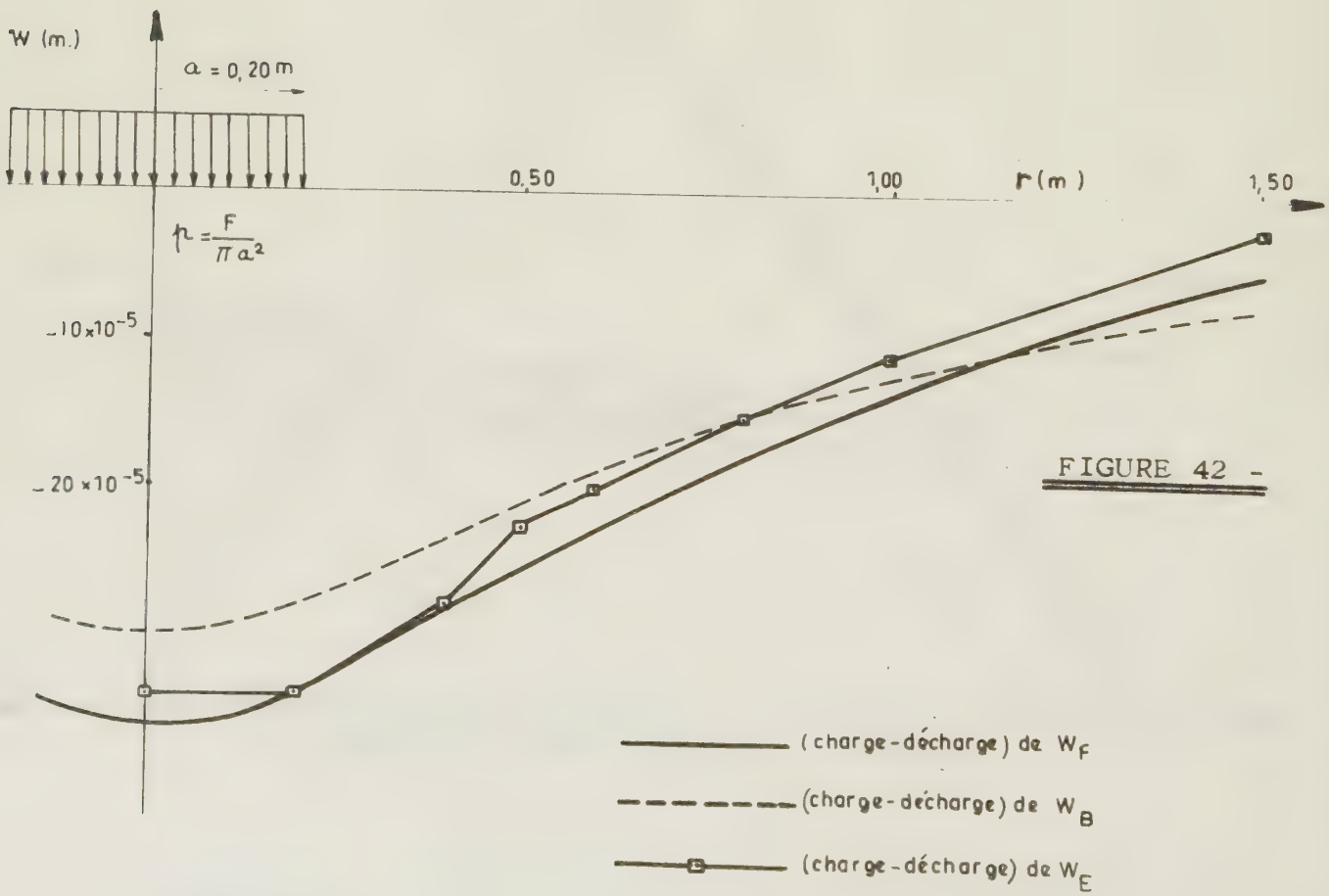
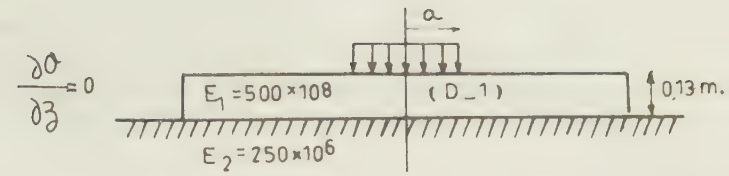


FIGURE 42 -

REPARTITIONS DES(W) AUX SURFACE DE LA(D-1) SOUS LES CHARGES STATIQUES



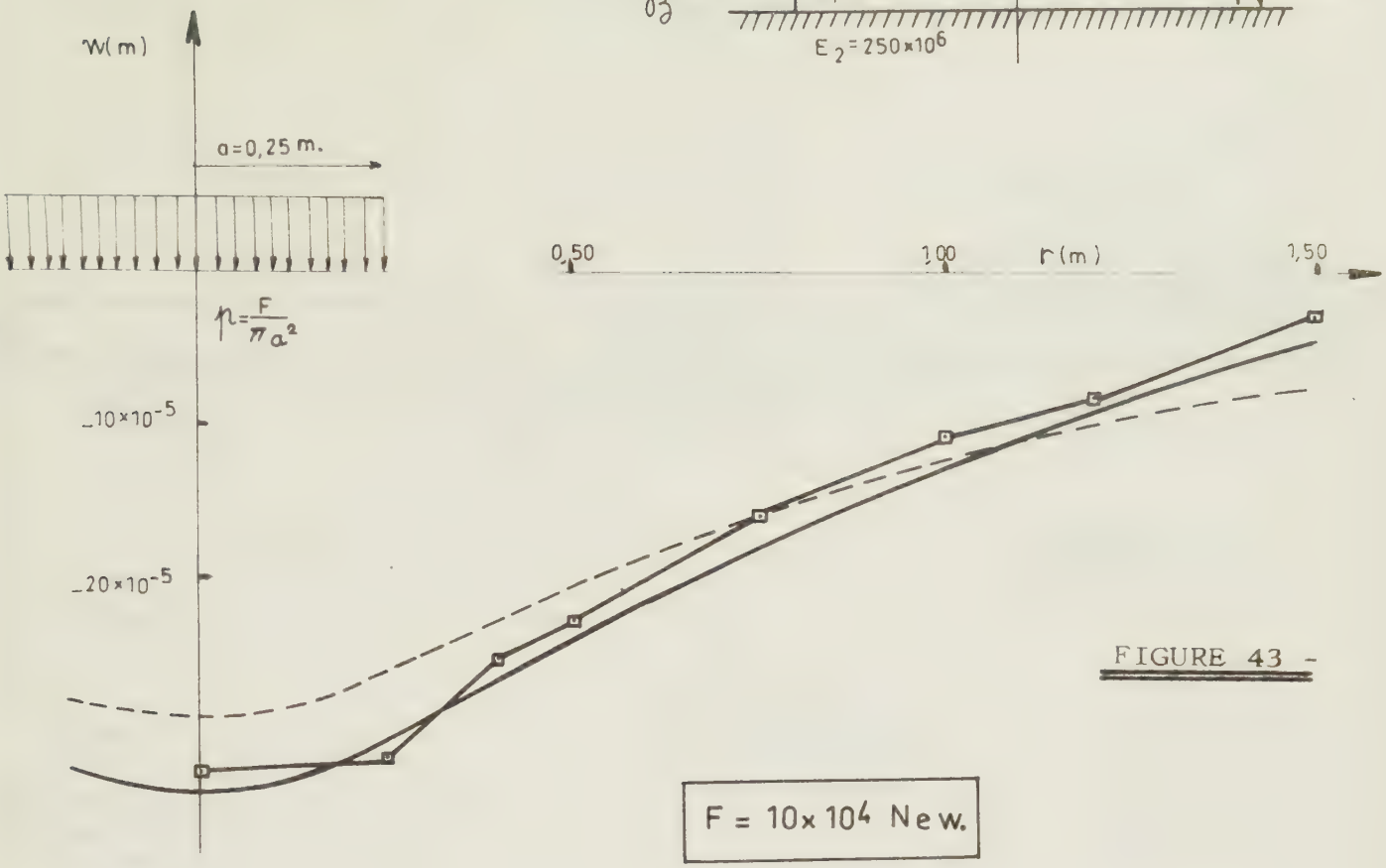


FIGURE 43 -

F = 10x 10⁴ New.

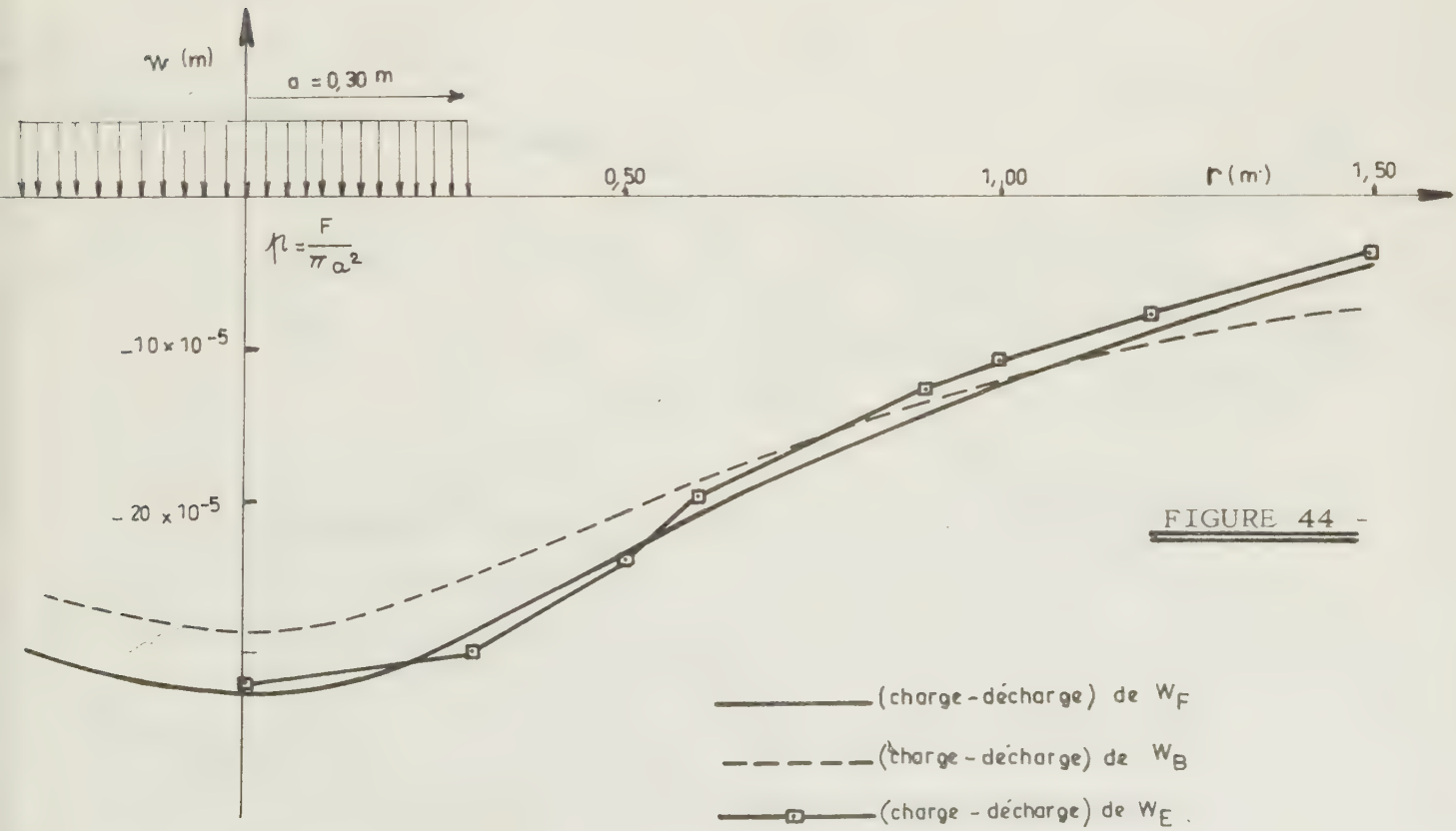
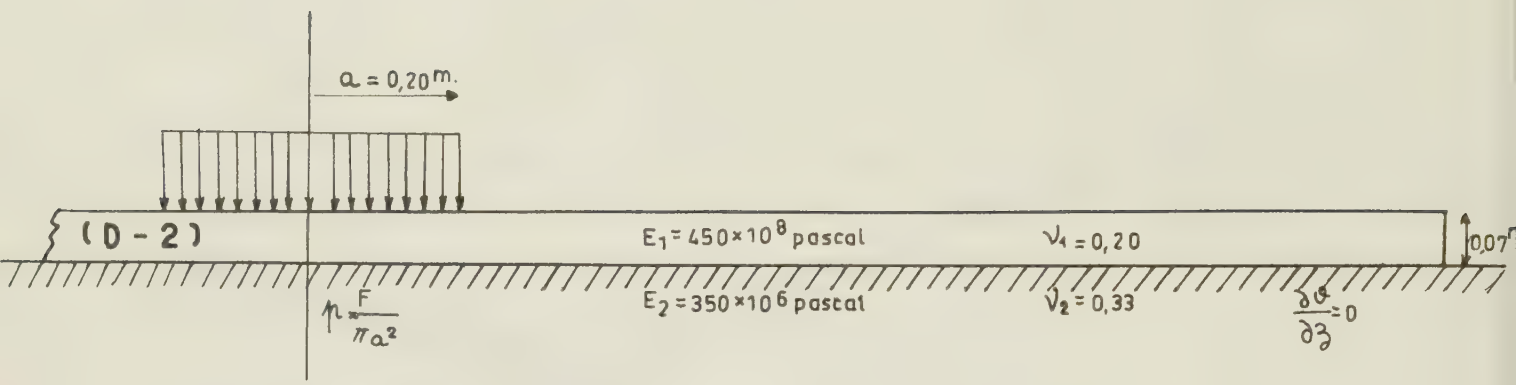


FIGURE 44 -

REPARTITIONS DES (W) AUX SURFACES DE LA (D-1) SOUS LES CHARGES STATIQUES

$F = 5 \times 10^4$ New.



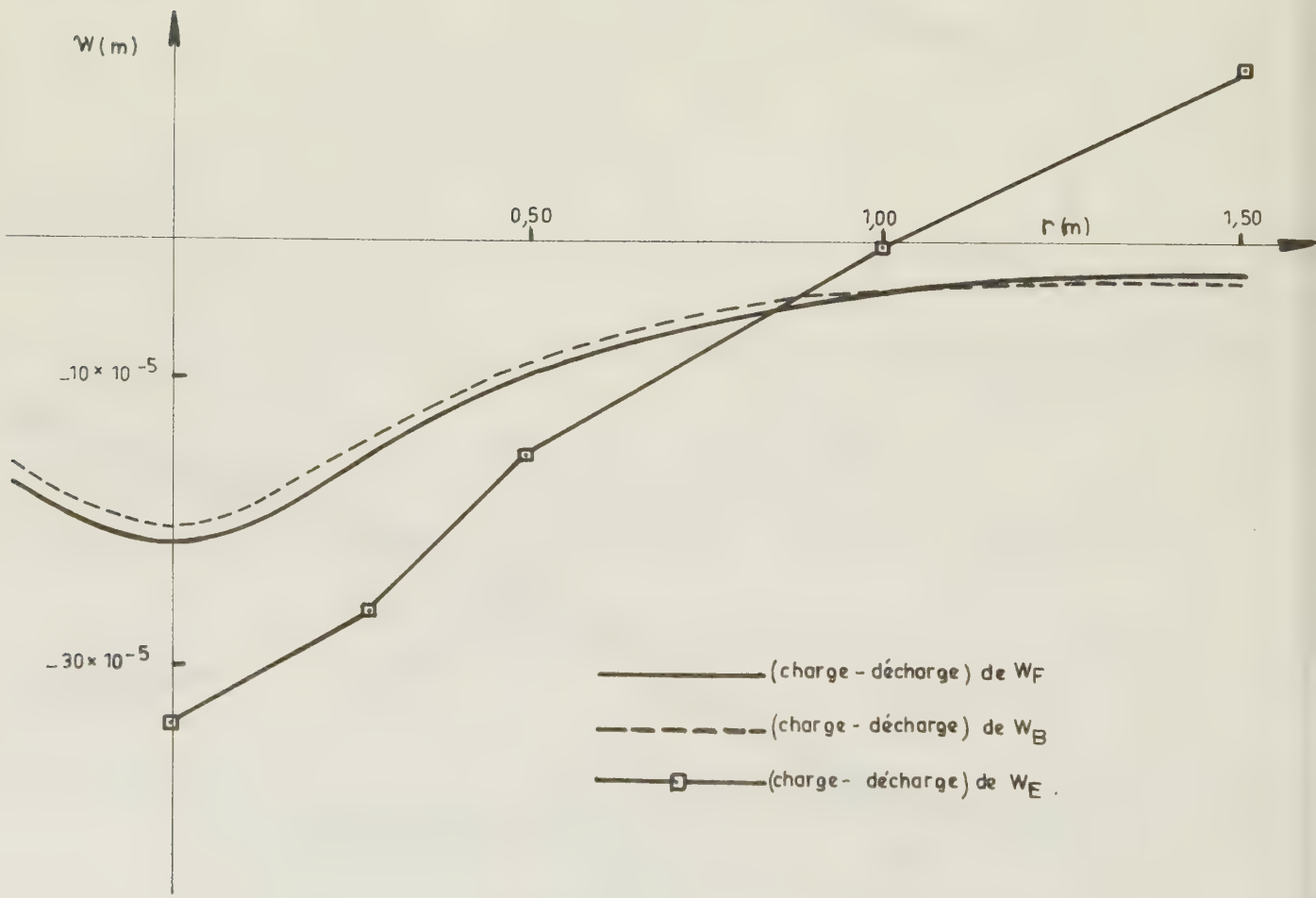


FIGURE 45 -

REPARTITIONS DES (W) AUX SURFACES DE LA (D - 2) SOUS LES CHARGES STATIQUES

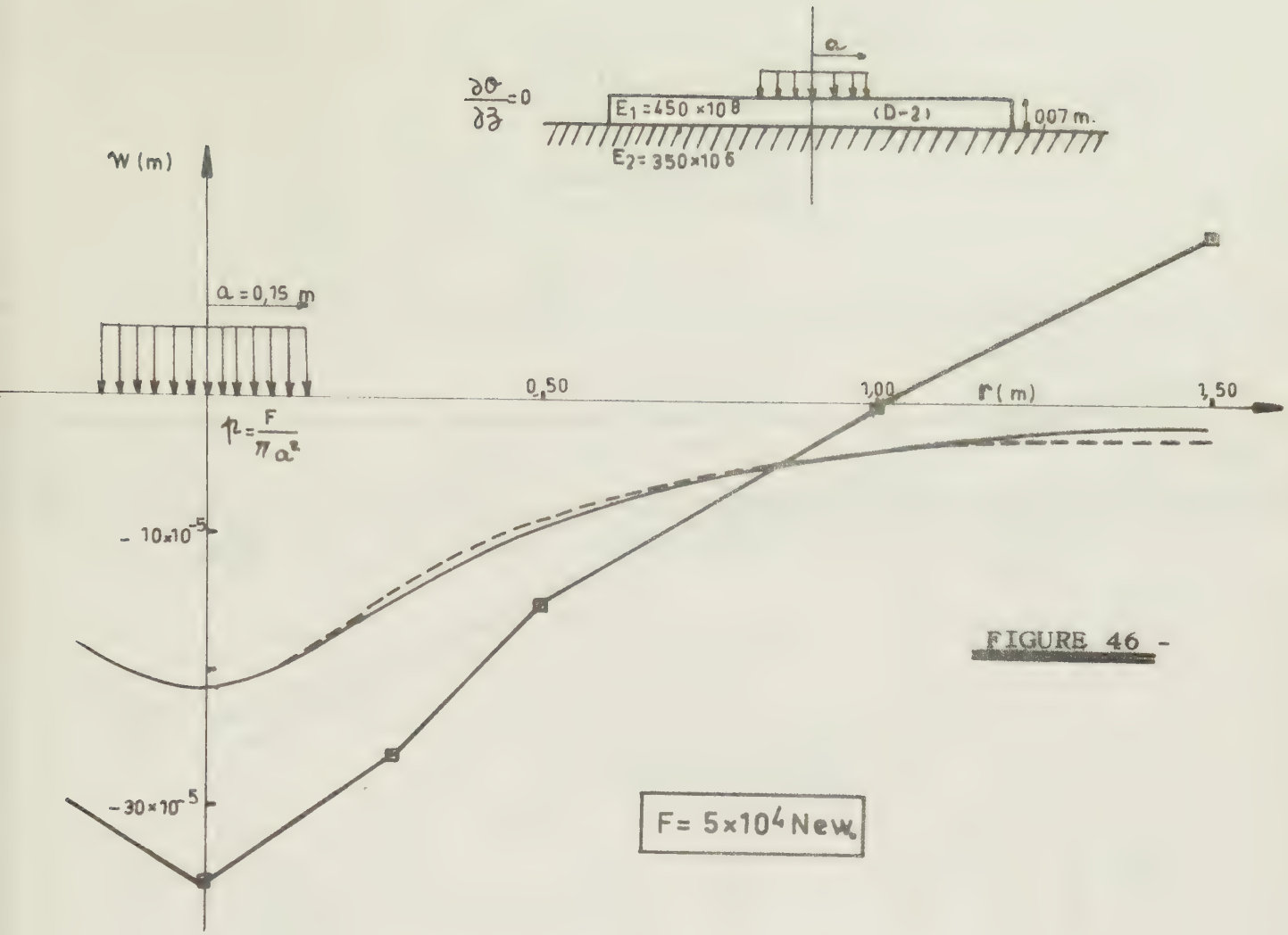


FIGURE 46 -

$F = 5\times10^4$ New

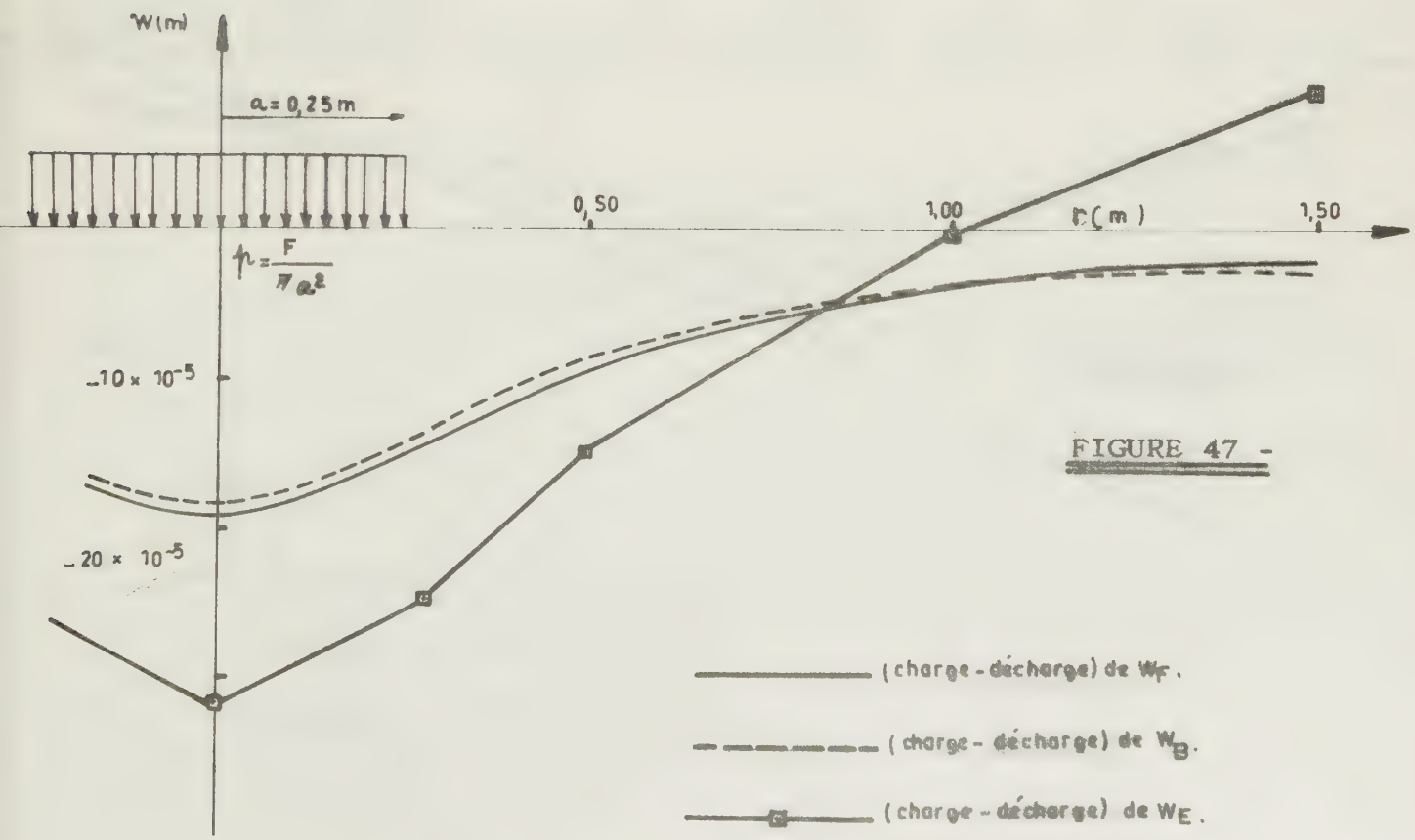


FIGURE 47 -

REPARTITIONS DES (W) AUX SURFACES DE LA (D-2) SOUS LES CHARGES STATIQUES.

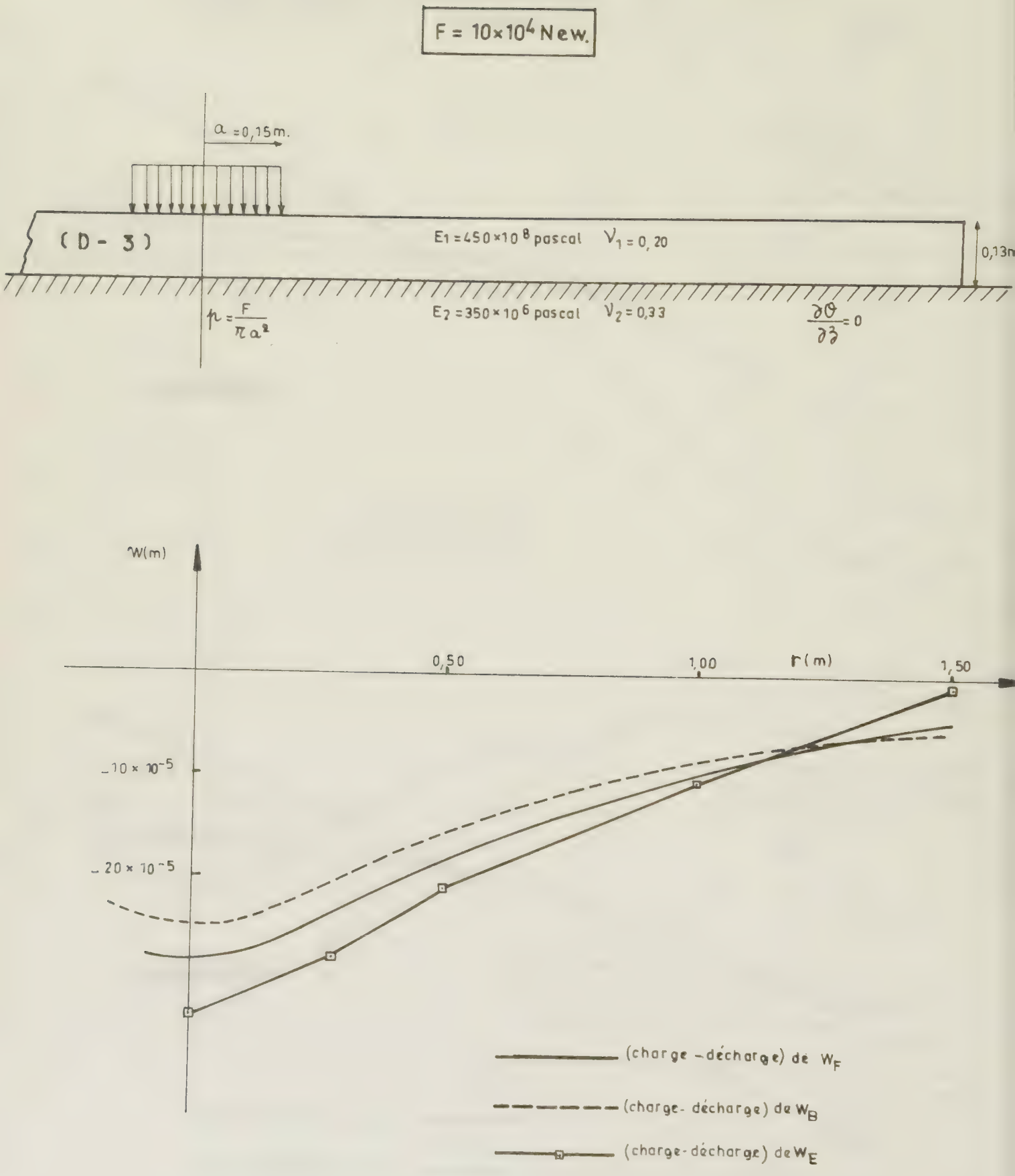


FIGURE 48 -

REPARTITIONS A LA SURFACE DE LA (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES

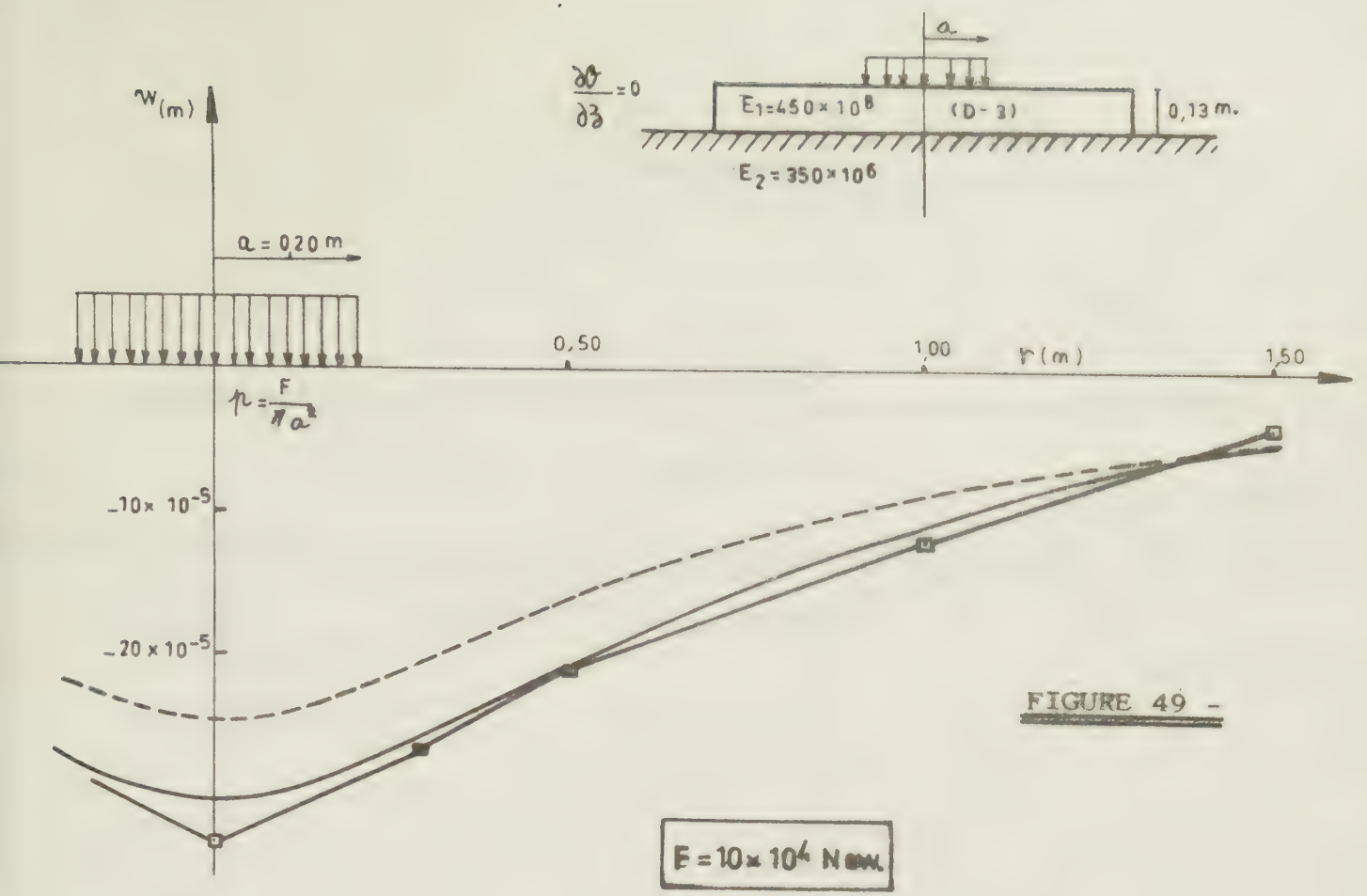


FIGURE 49 -

$F = 10 \times 10^4$ N

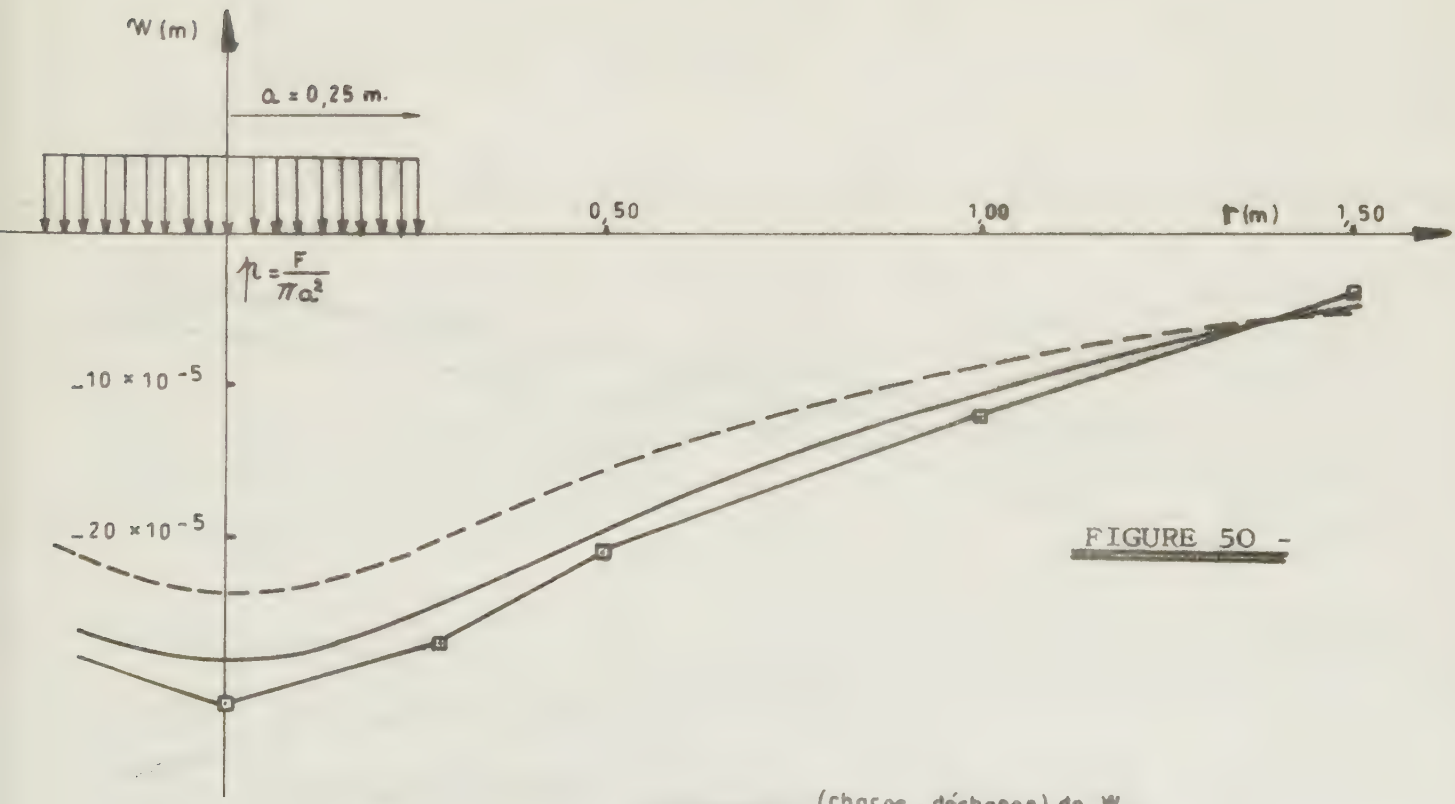


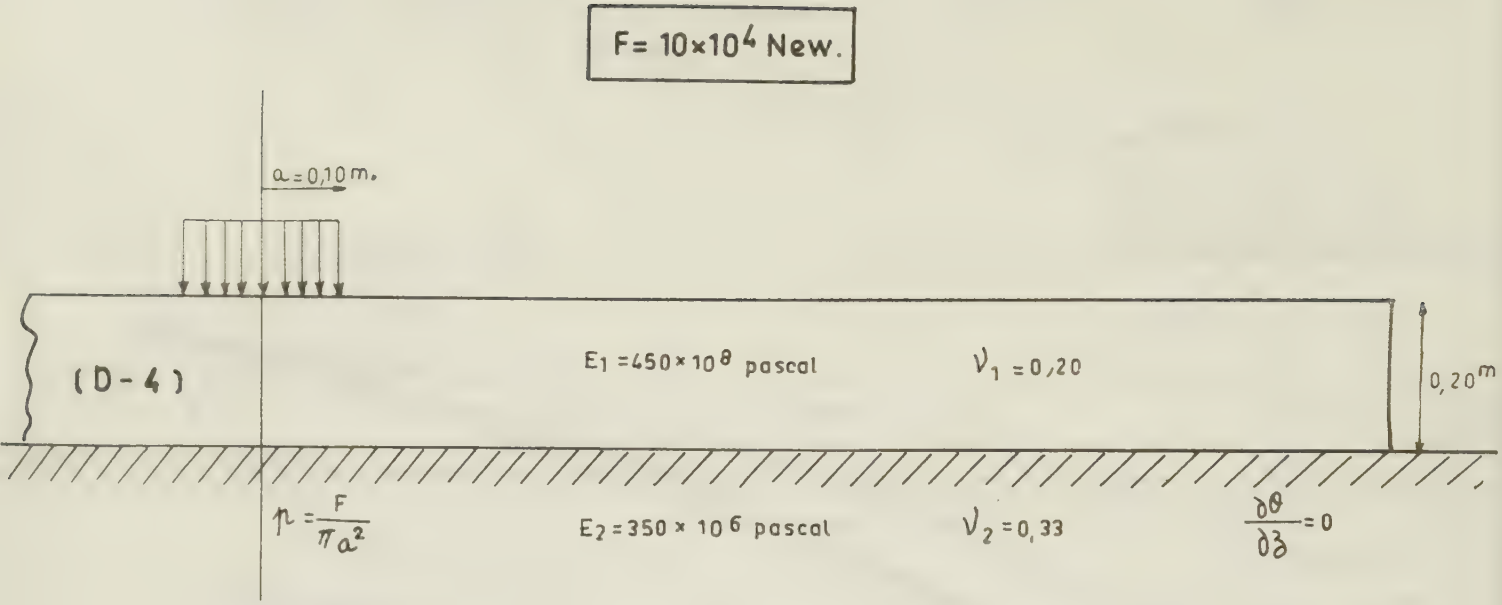
FIGURE 50 -

——— (charge - décharge) de W_F

— — — — (charge - décharge) de W_B

——□—— (charge - décharge) de W_E

REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES



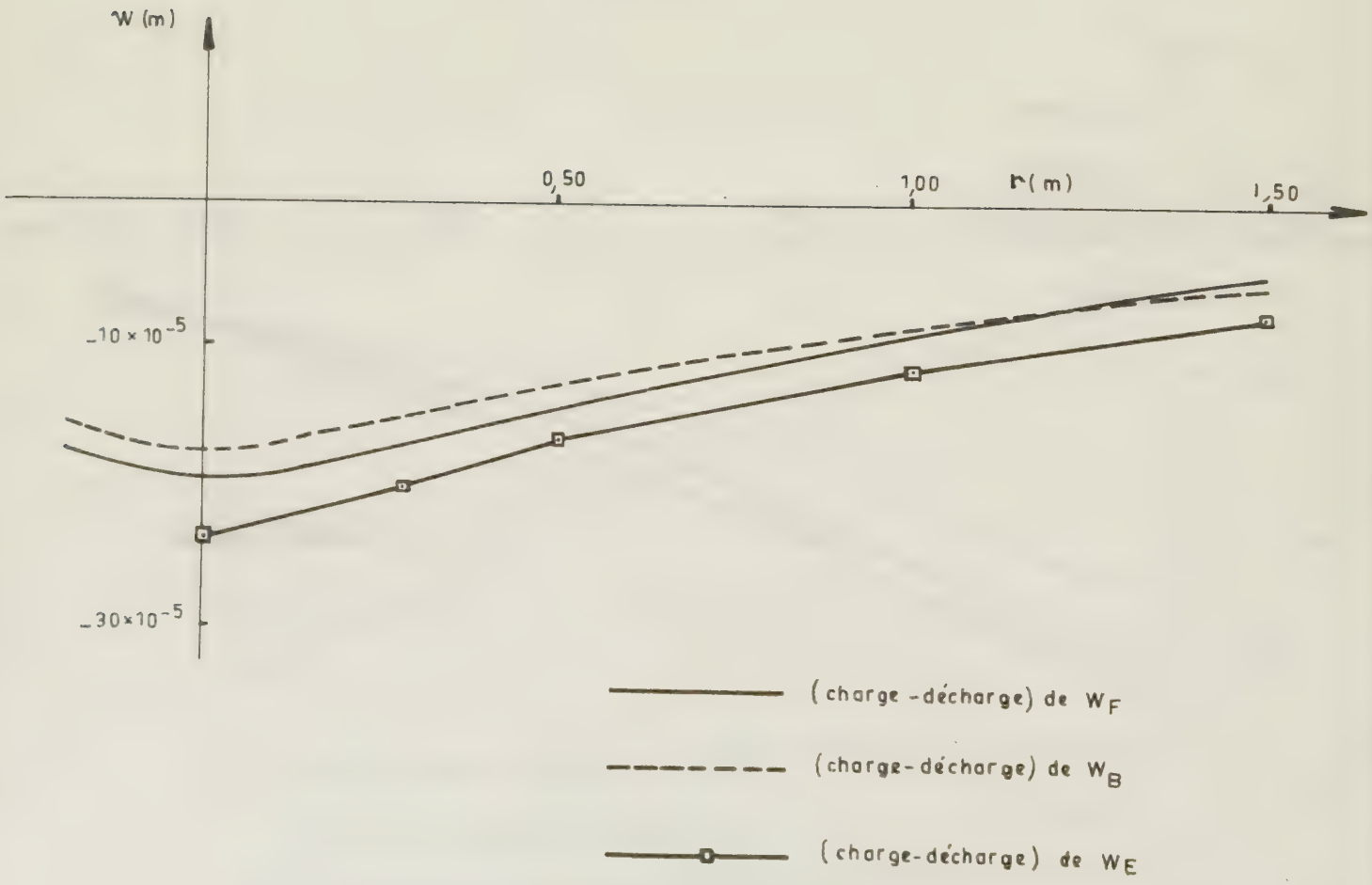


FIGURE 51 -

REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-4) SOUS LES CHARGES STATIQUES

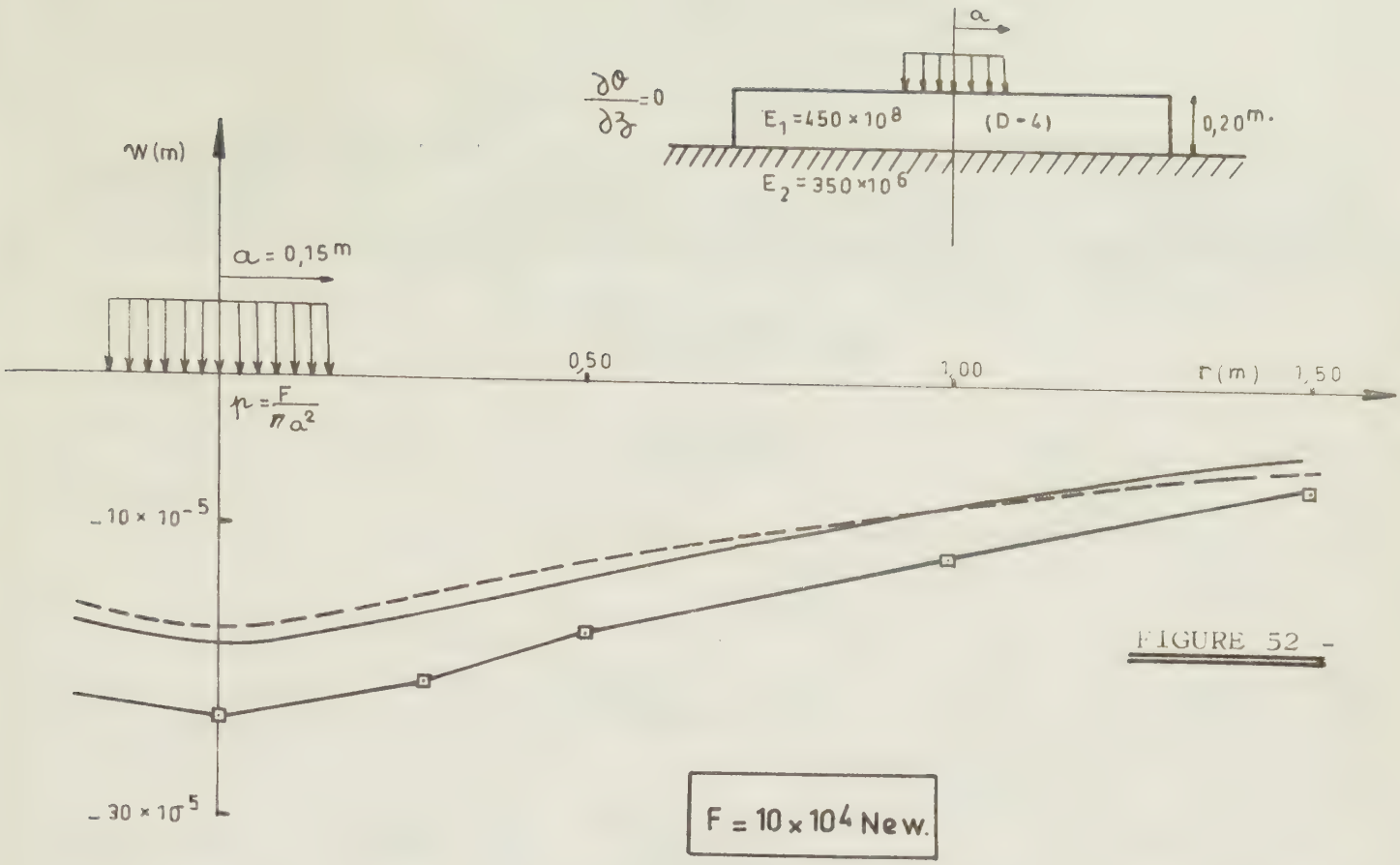


FIGURE 52 -

$F = 10 \times 10^4$ New.

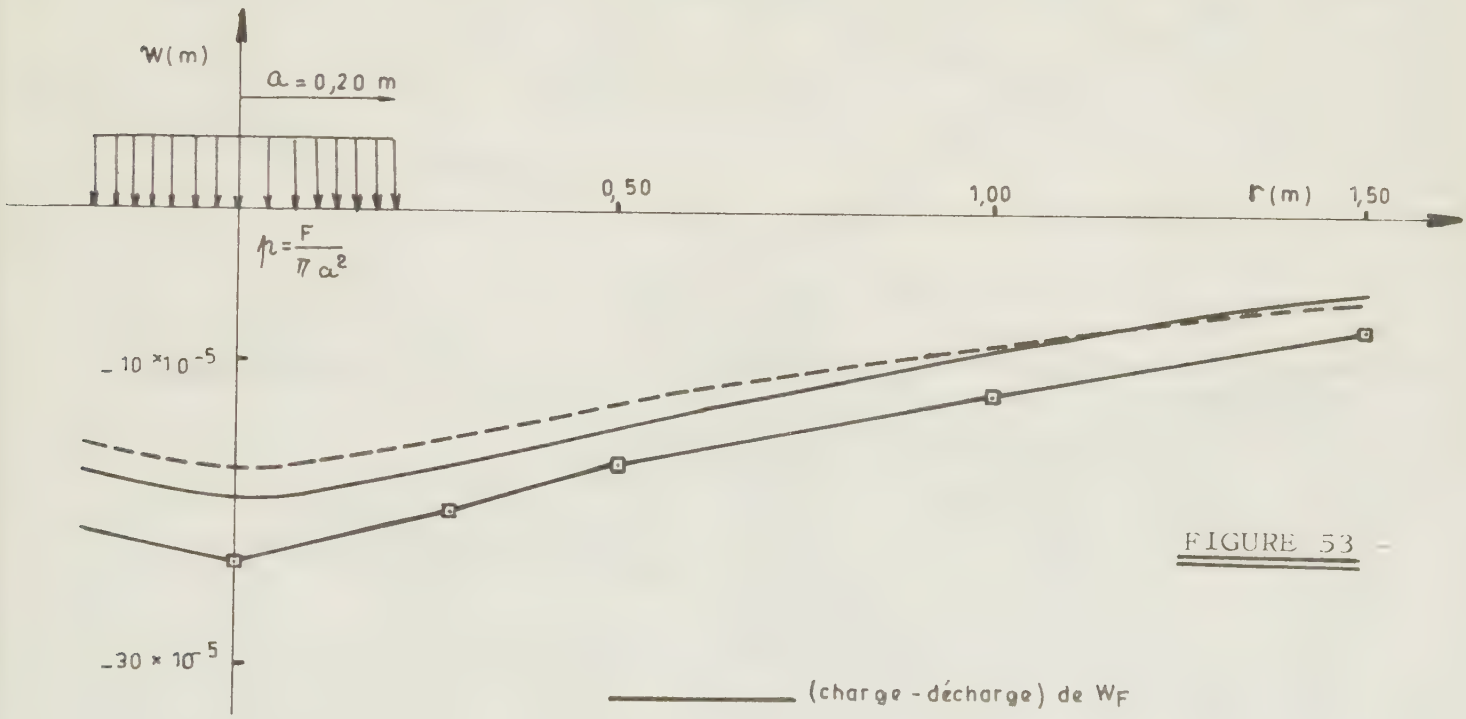


FIGURE 53 -

(charge - décharge) de W_F

(charge - décharge) de W_B

(charge - décharge) de W_E.

REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-4) SOUS LES CHARGES STATIQUES

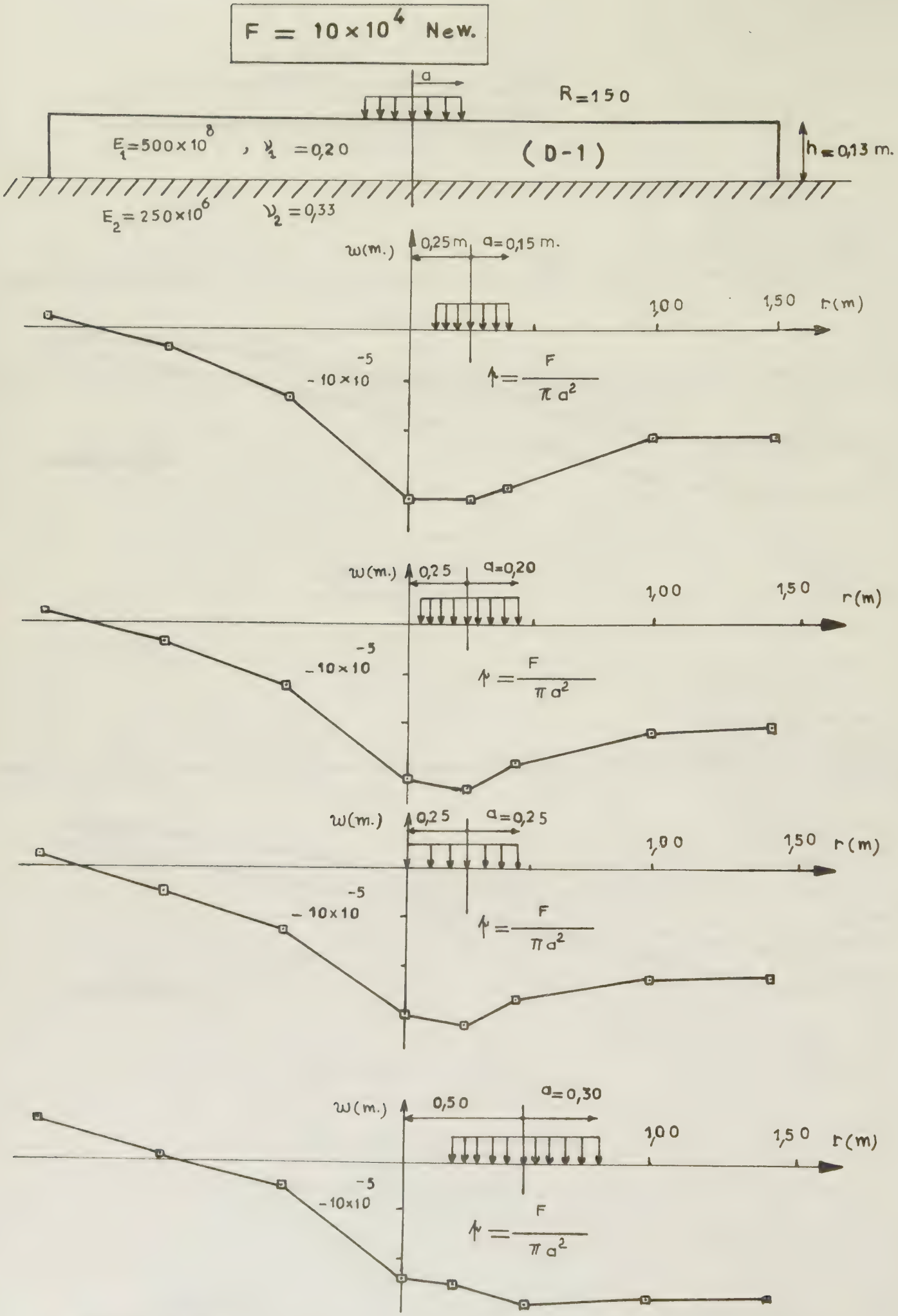
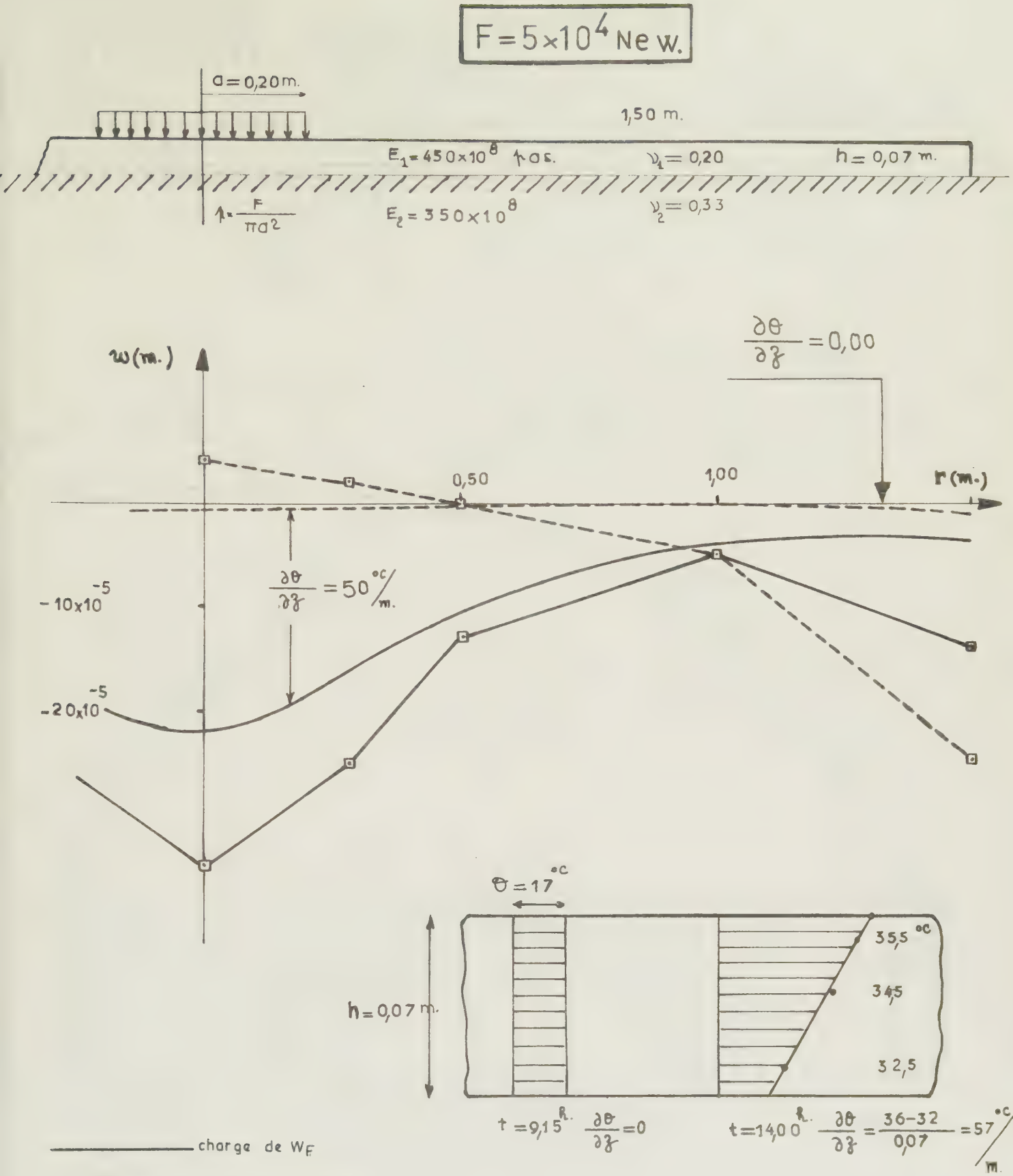


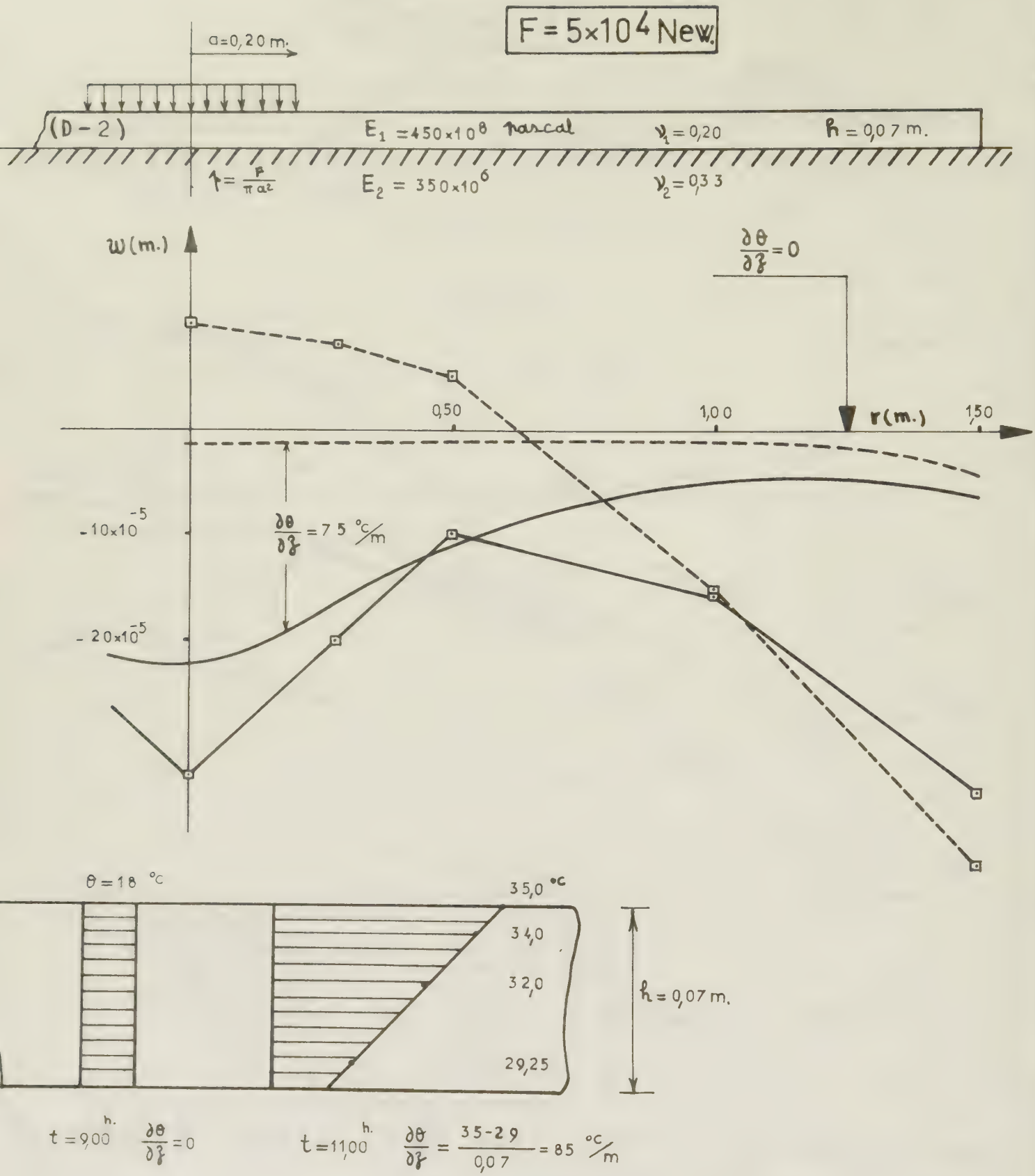
FIGURE 54 -

REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D - 1) SOUS LA CHARGE EXCENTREE .



REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-2) SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES _

FIGURE 55 -



$t = 9{,}00^{h.}$ $\frac{\partial\theta}{\partial z} = 0$ $t = 11{,}00^{h.}$ $\frac{\partial\theta}{\partial z} = \frac{35-29}{0{,}07} = 85\ ^{\circ c}/_{m}$

charge de W_F

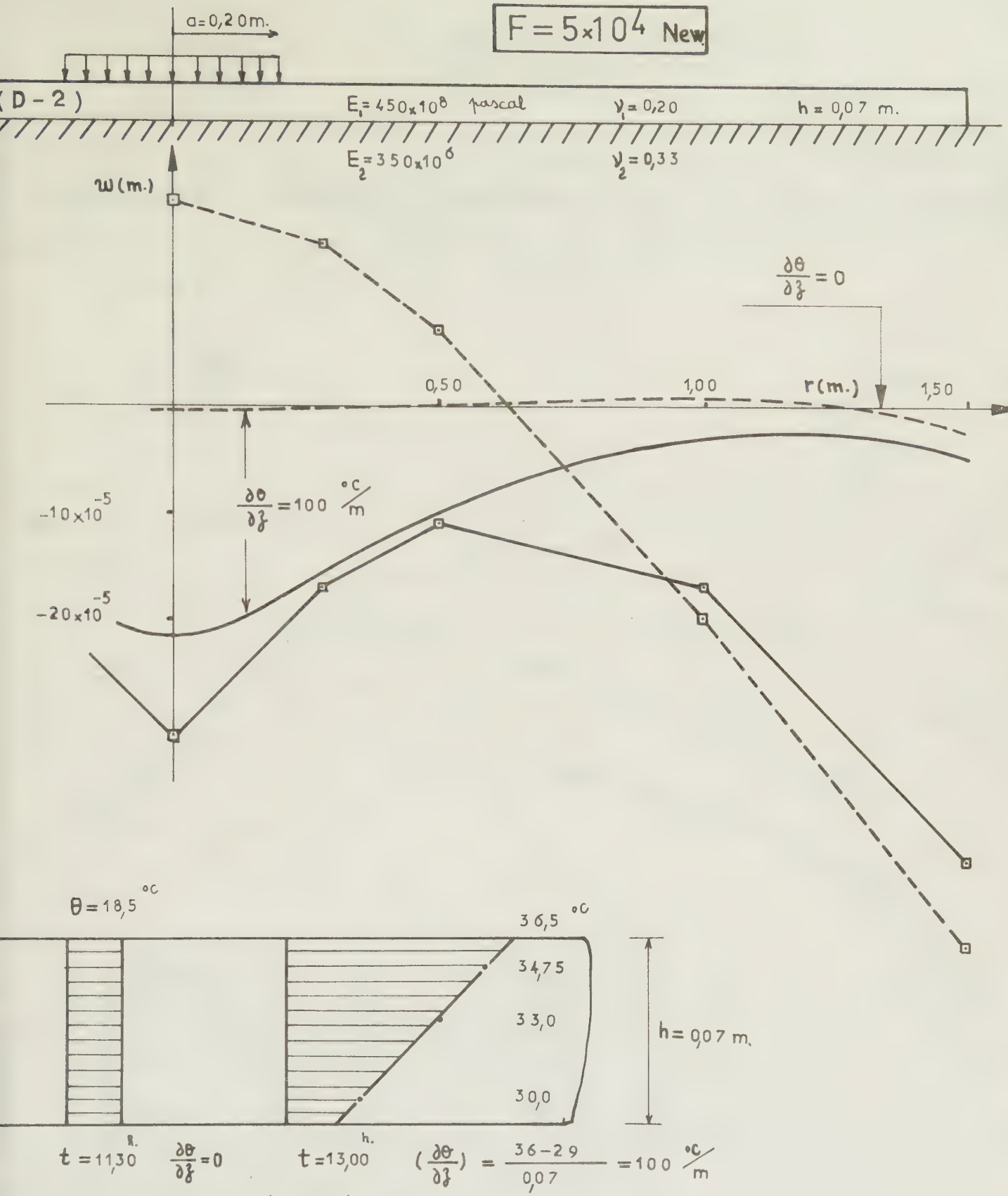
décharge de W_F

charge de W_E

décharge de W_E

REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-2) SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES

FIGURE 56



$t = 11{,}30^{h.}$ $\frac{\partial\theta}{\partial z} = 0$ $t = 13{,}00^{h.}$ $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) = \frac{36-29}{0{,}07} = 100\ ^{\circ}C/m$

charge de W_F

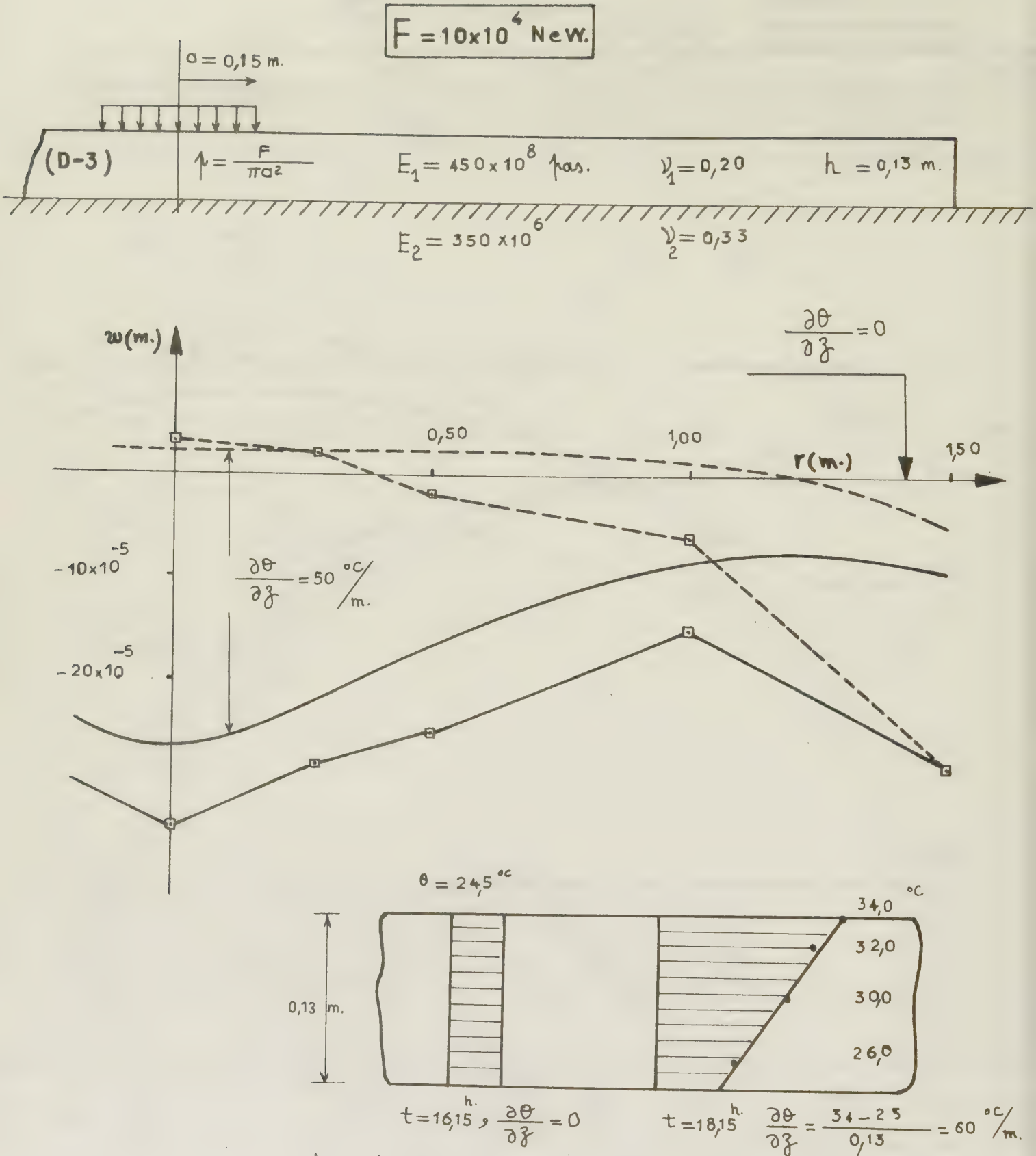
décharge de W_F

charge de W_E

décharge de W_E

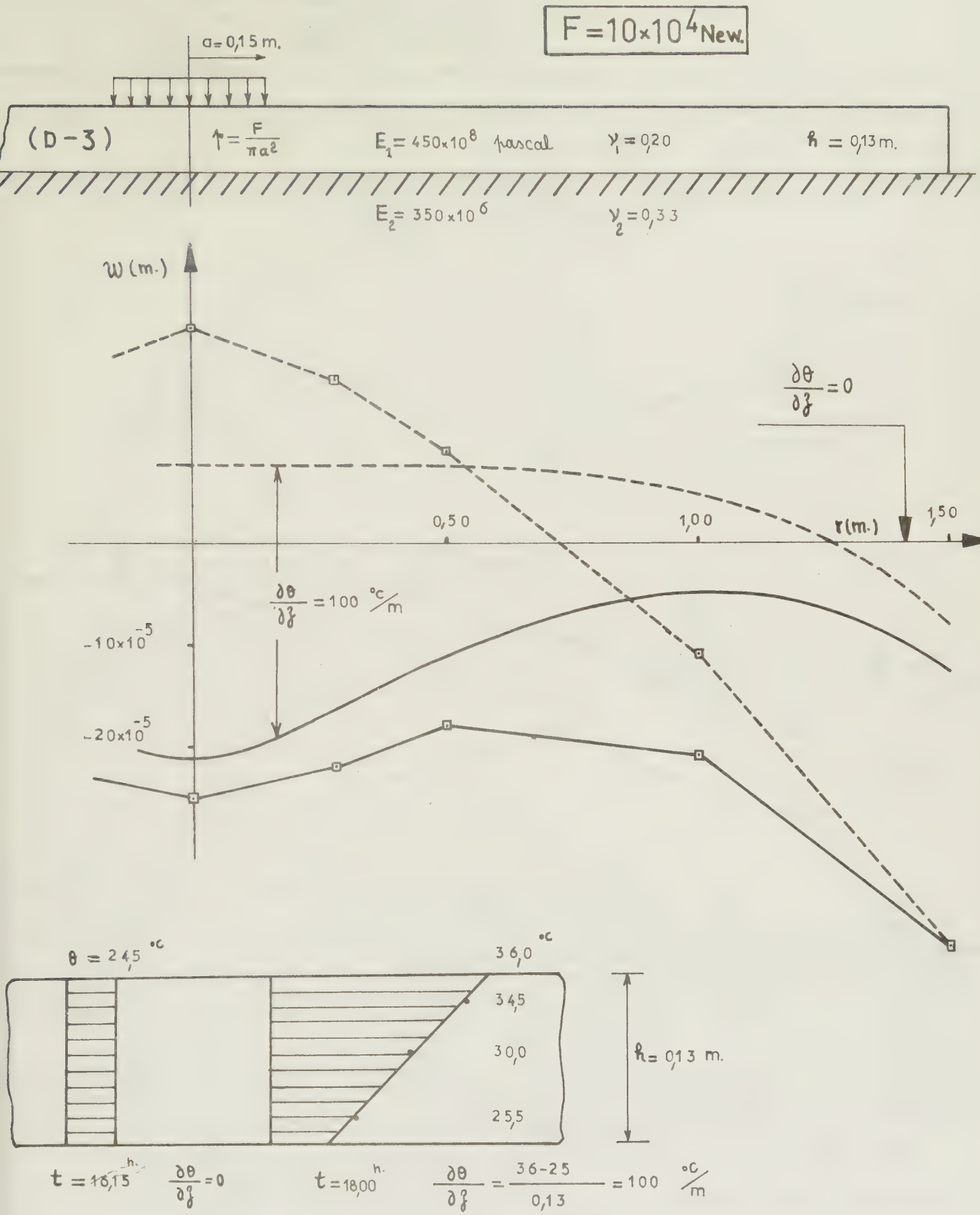
REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-2) SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES

FIGURE 57



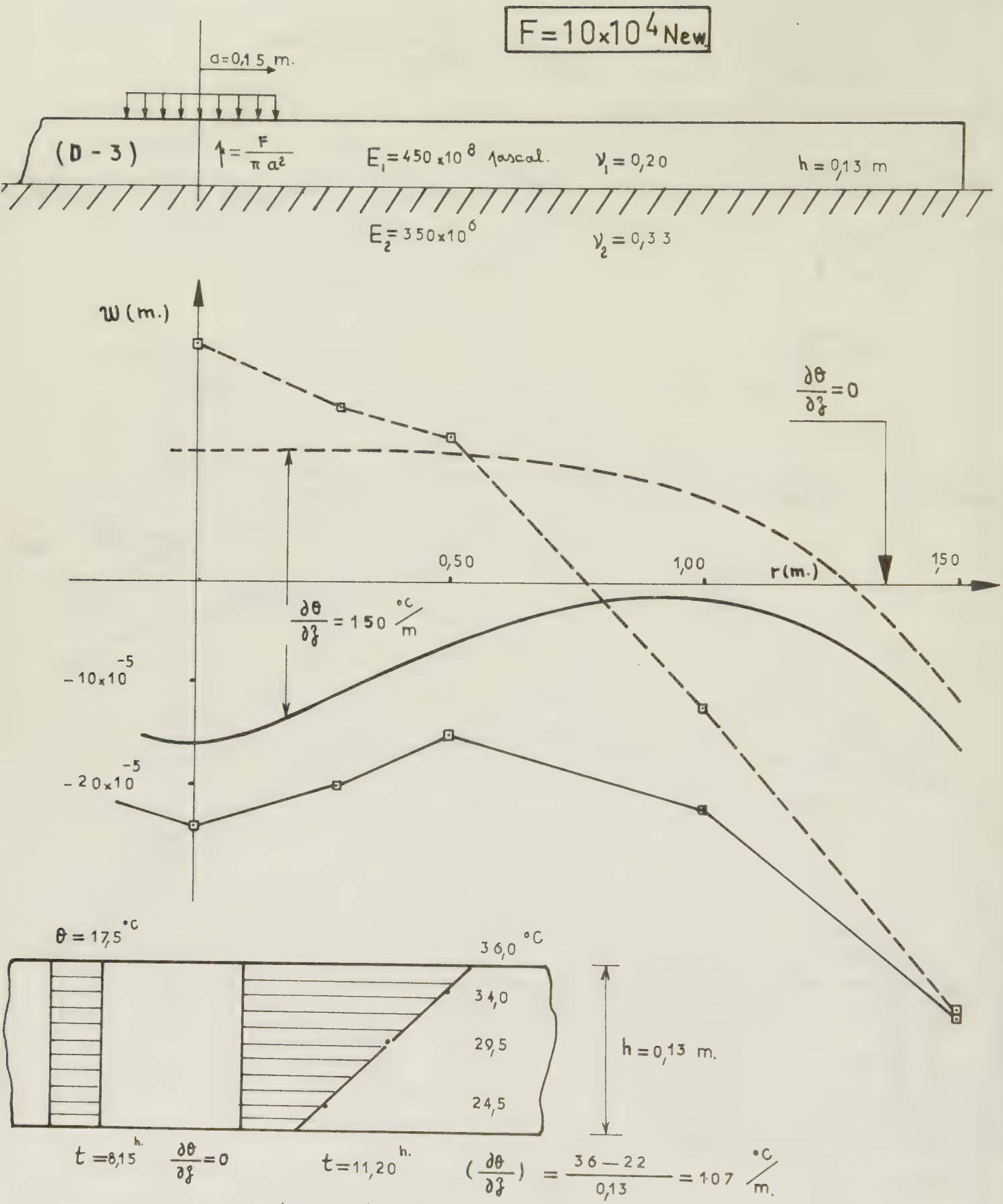
REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D - 3) SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES _

FIGURE 58 -



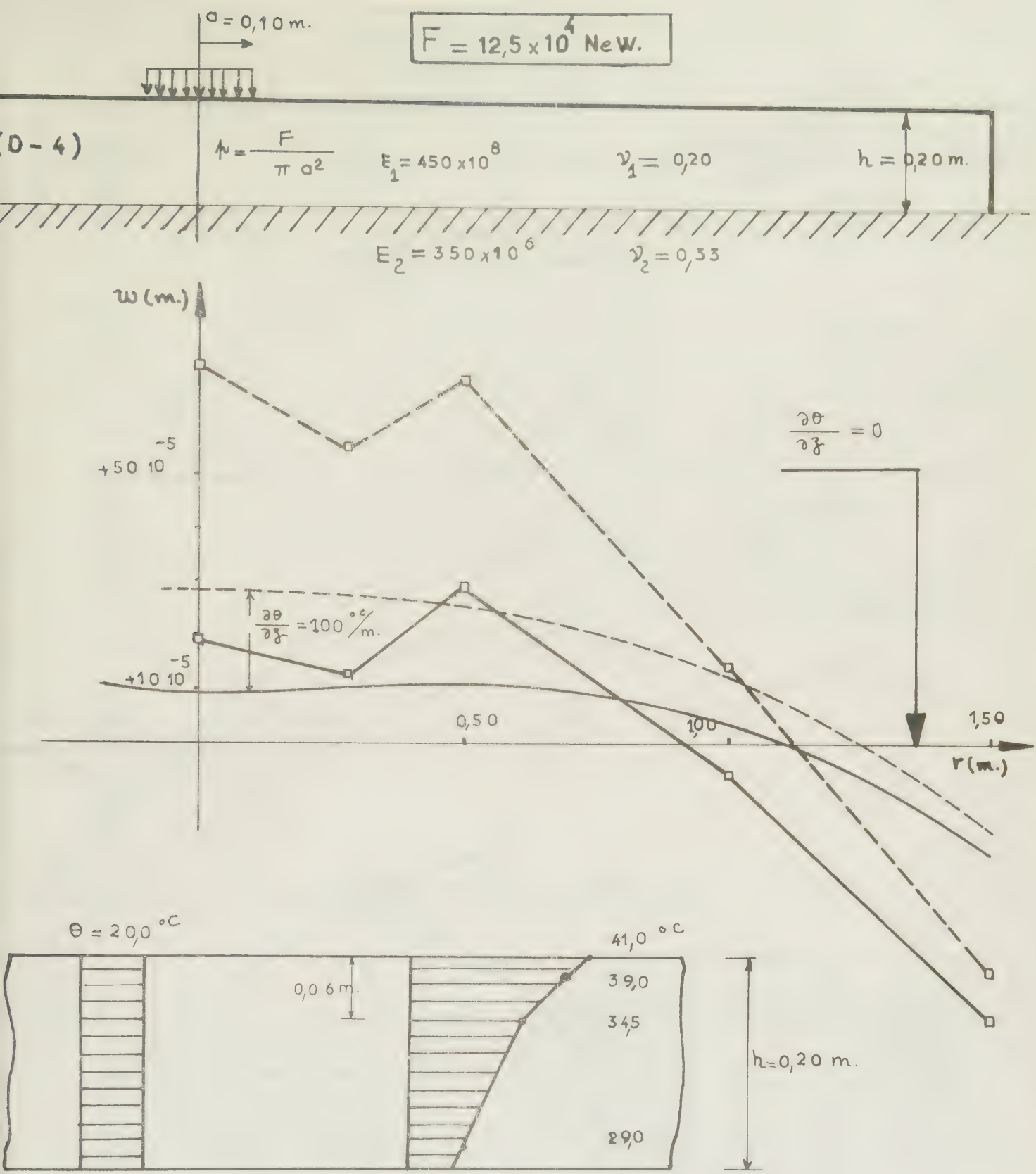
REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-3) SOUS LES CHARCES STATIQUES ET THERMIQUES

FIGURE 59



REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES

FIGURE 60



$t = 8,10^{h.}$ $\quad \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$t = 13,30^{h.}$ $\quad \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{41 - 34,5}{0,06} = 108\ ^{\circ}C/m.$

$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{34,5 - 28}{0,14} = 46\ ^{\circ}C/m.$

charge de W_F

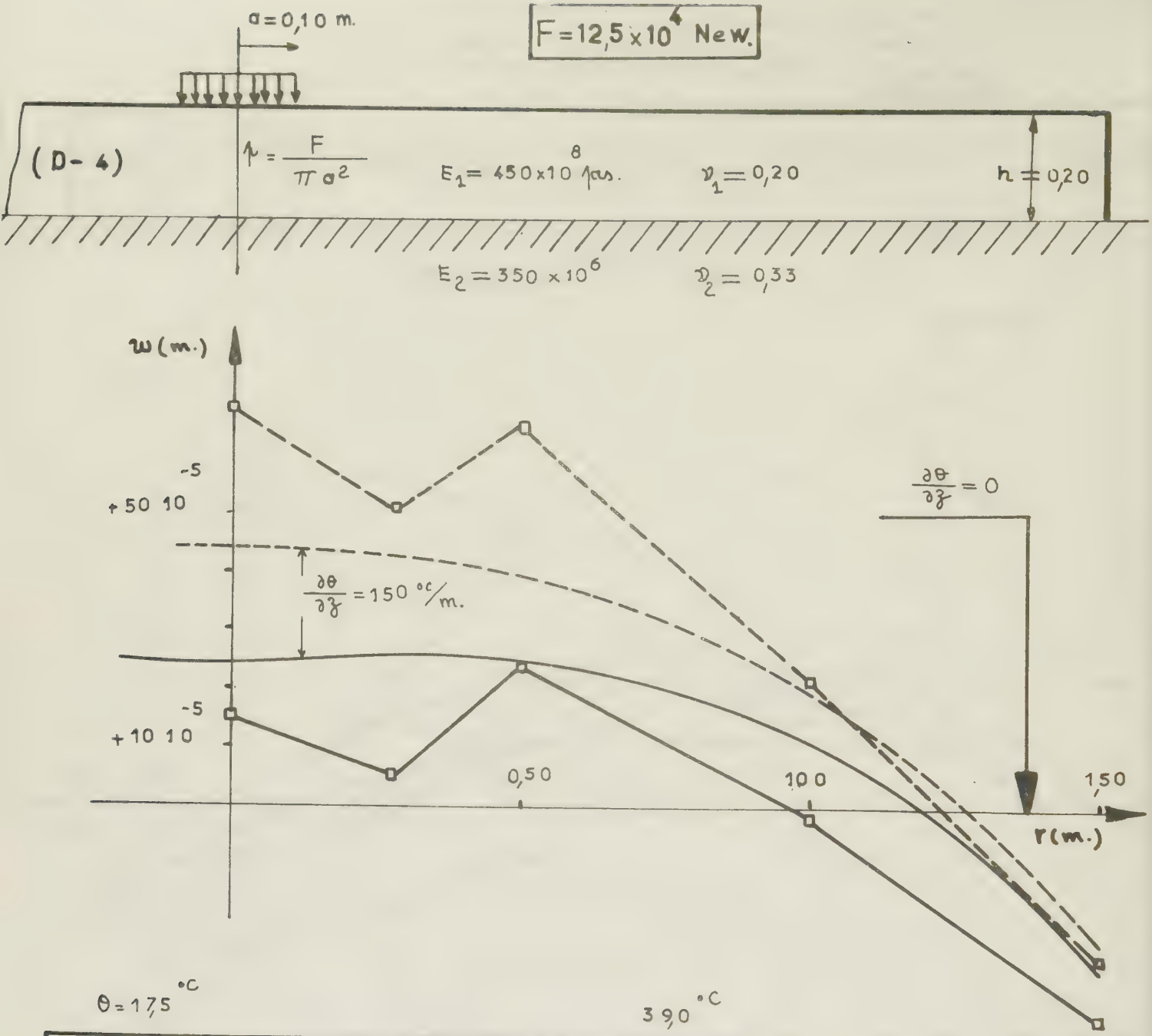
décharge de W_F

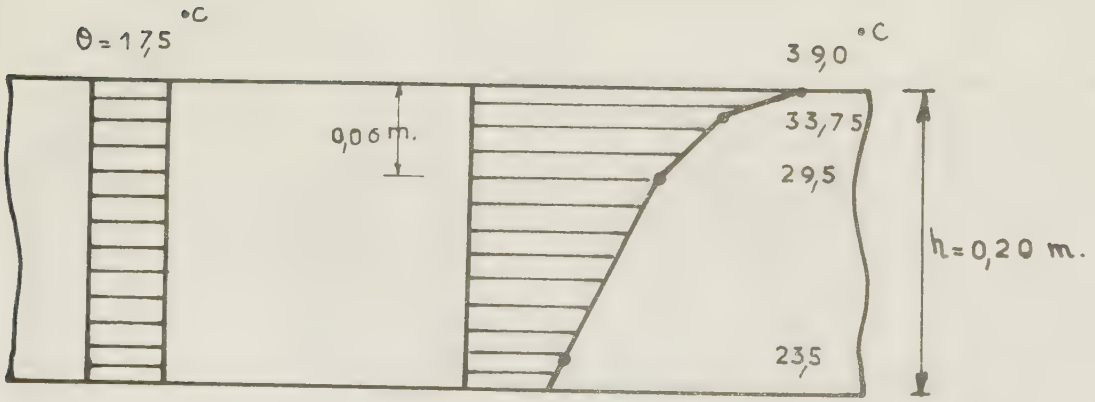
charge de W_E

décharge de W_E

REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-4) SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES _

FIGURE 61 -





$t = 7,45^{h.}$, $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$t = 11,30^{h.}$ $\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{39-29,5}{0,06} = 153$ °c/m.

$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{29,5-22,5}{0,14} = 50$ °c/m.

charge de W_F

décharge de W_F

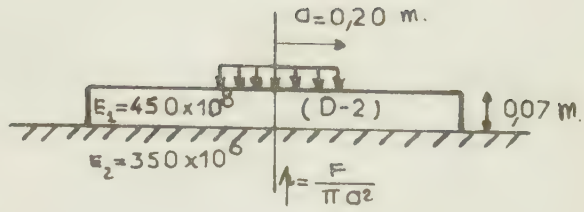
charge de W_E

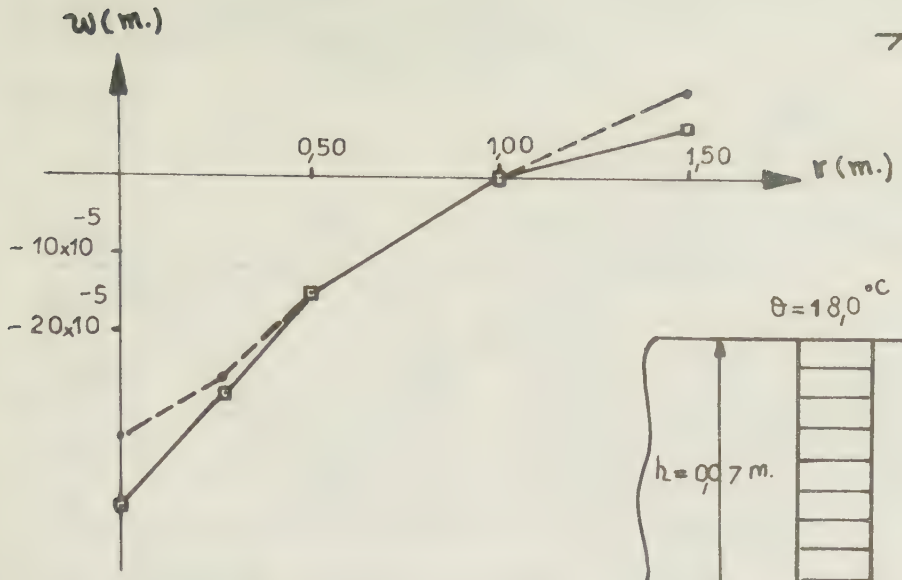
décharge de W_E

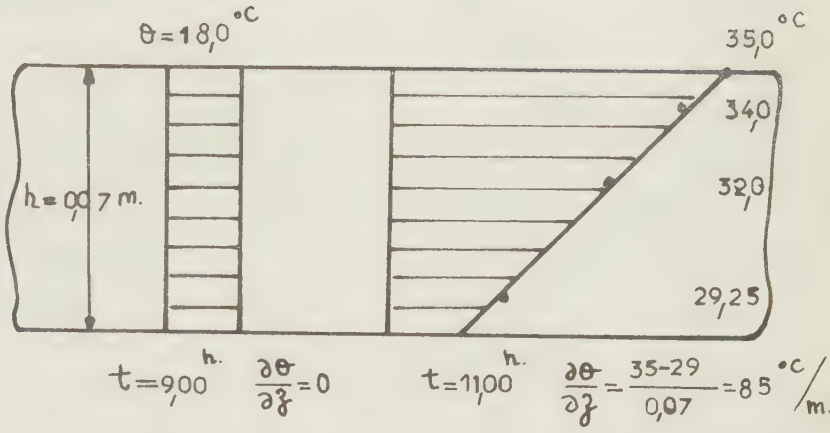
REPARTITIONS DES (W) A LA SURFACE DE LA (D-4)
SOUS LES CHARGES STATIQUES ET THERMIQUES -

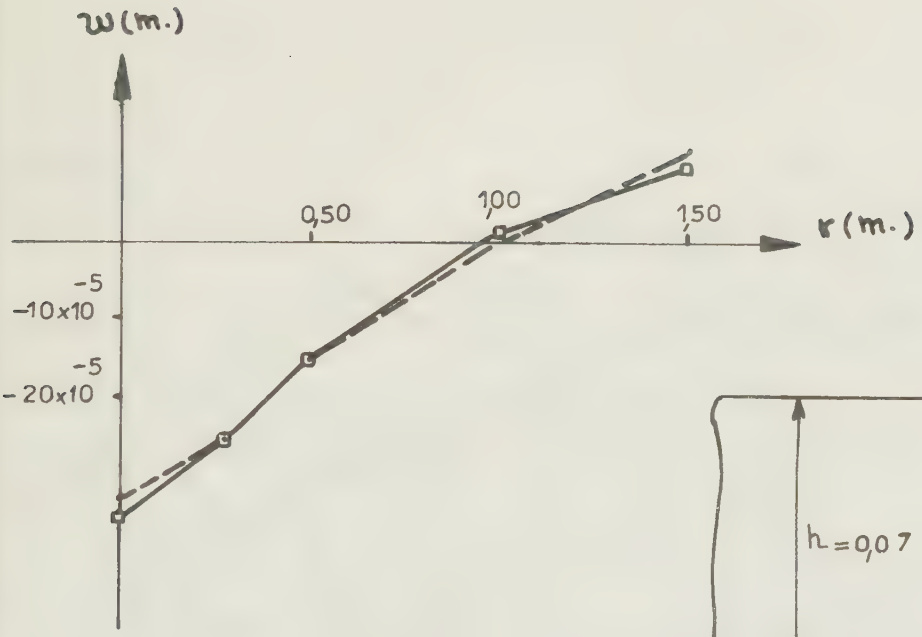
FIGURE 62 -

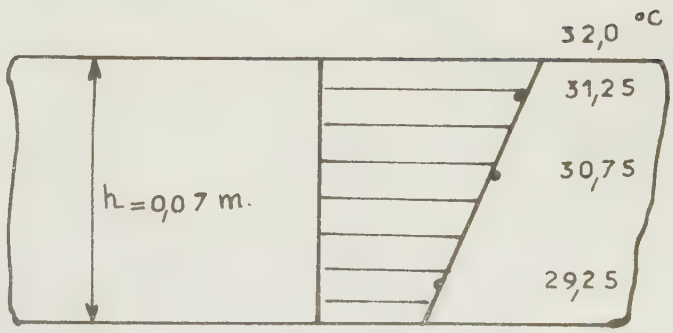
$F = 5 \times 10^4$ New.









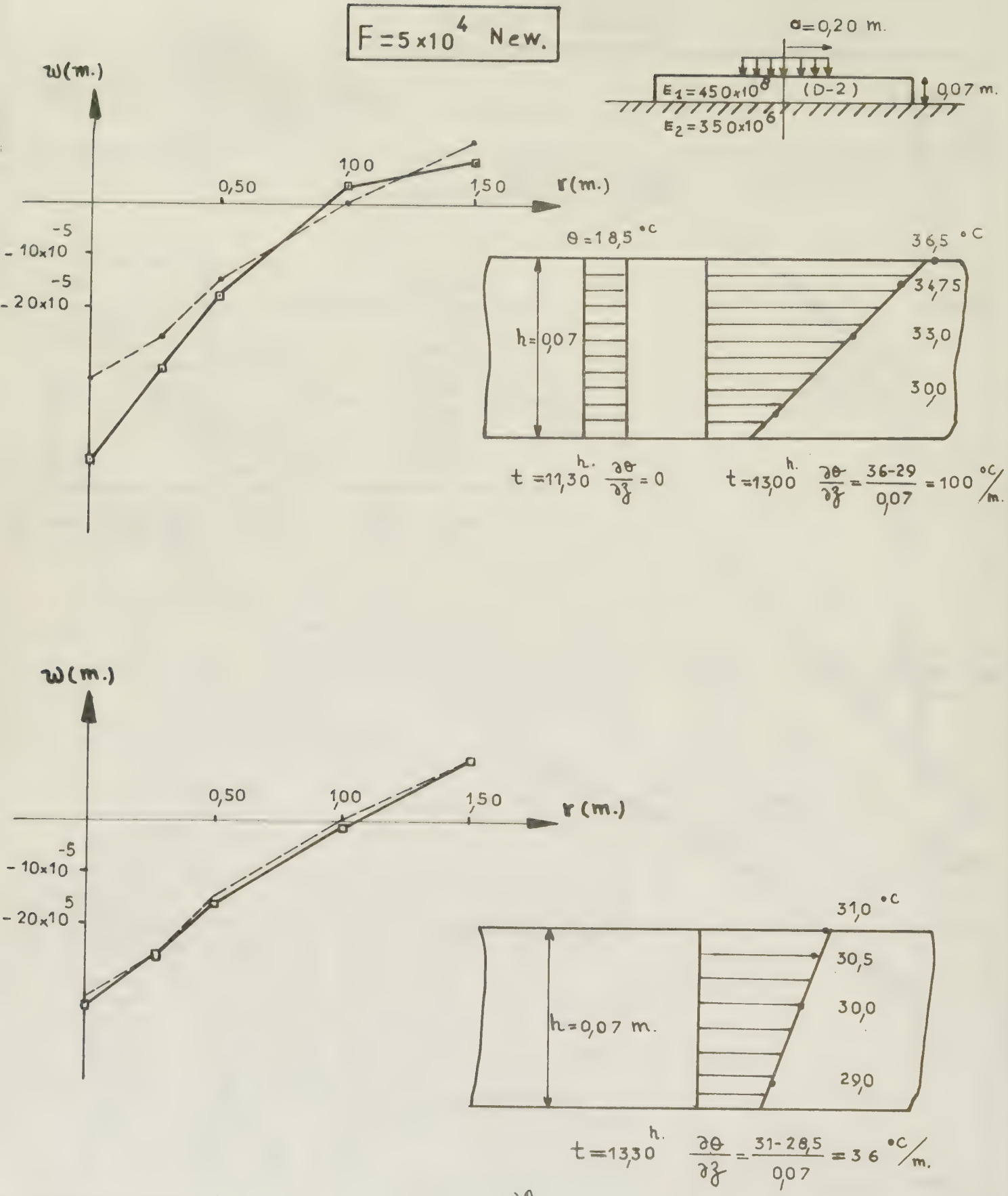


(charge - décharge) de W_E avec $\frac{\partial \theta}{\partial z} \neq 0$

(charge - décharge) de W_E avec $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

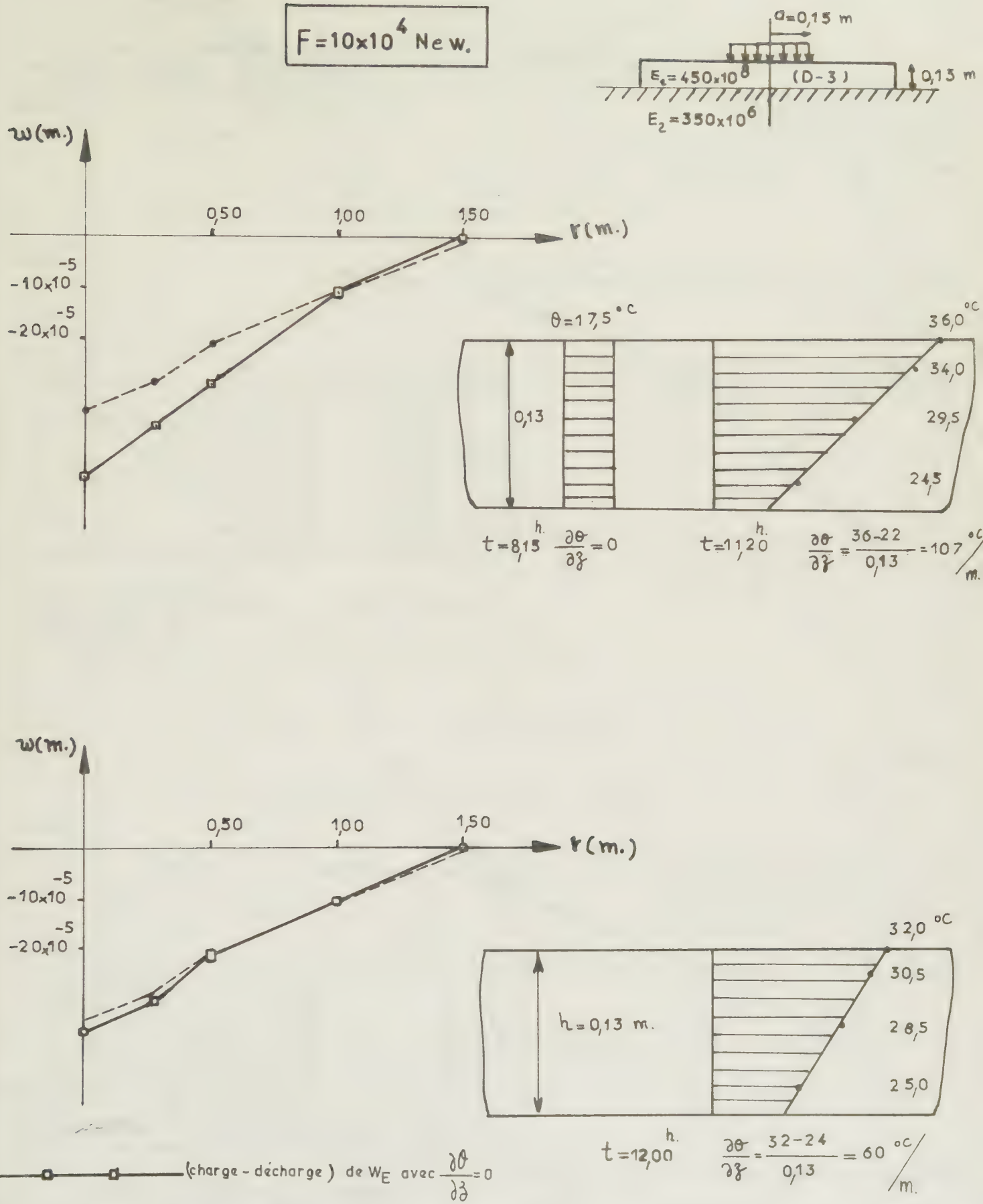
DECOLLAGES DE LA (D-2) SOUS LES $(\frac{\partial \theta}{\partial z})$ ELEVES .

FIGURE 63 -



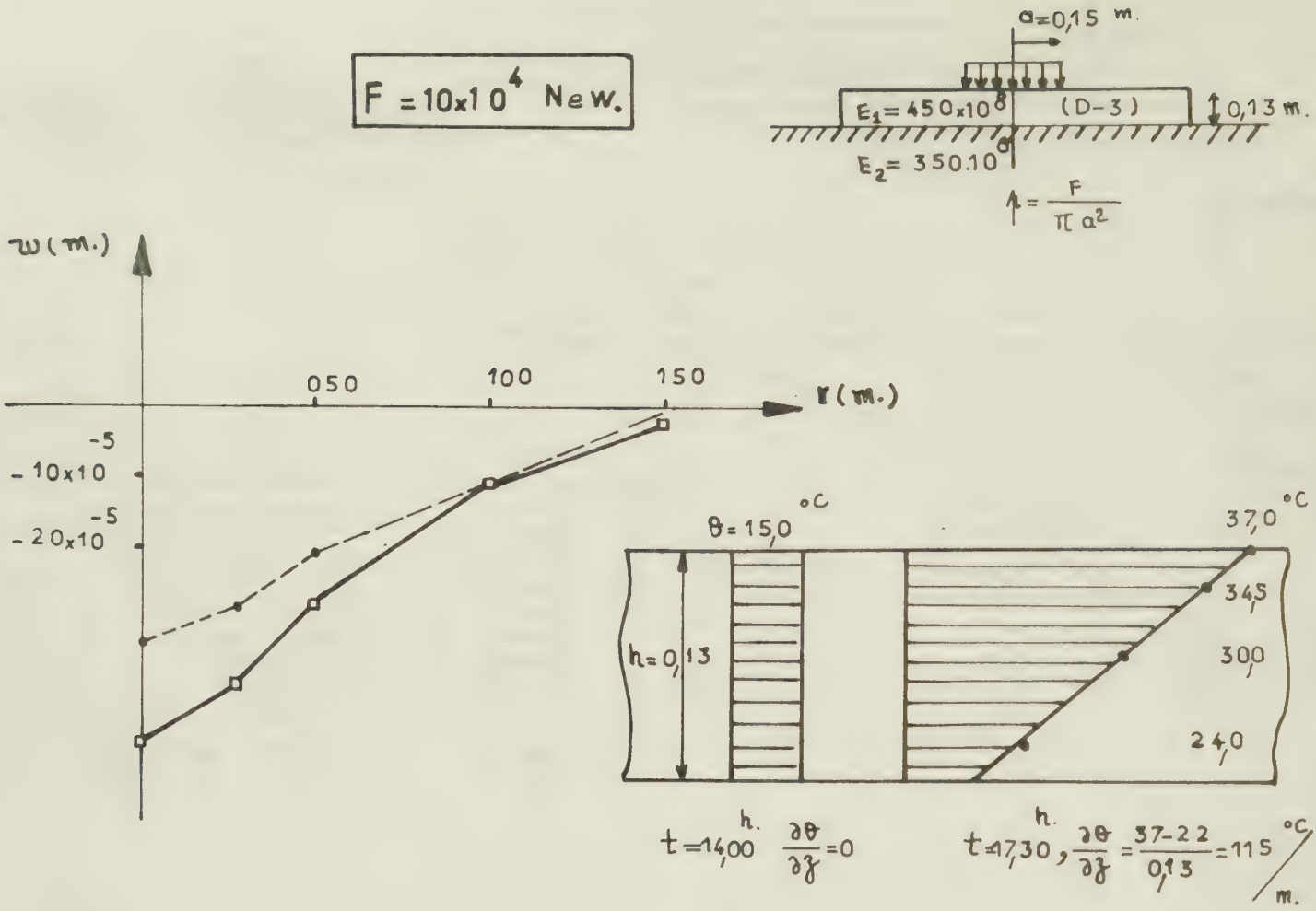
DECOLLAGES DE LA (D-2) SOUS LES ($\frac{\partial \theta}{\partial z}$) ELEVES

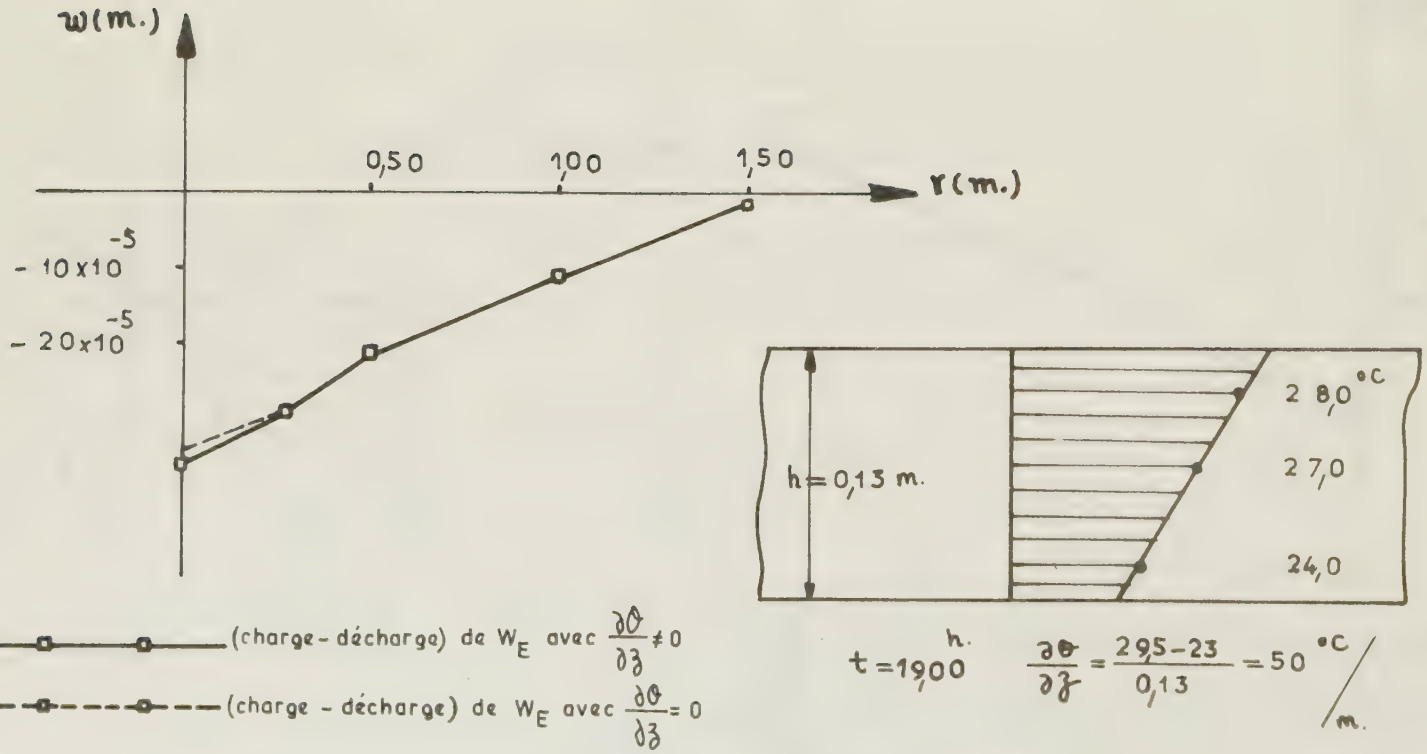
FIGURE 64 -



DECOLLAGES DE LA (D-3) SOUS LES ($\frac{\partial \theta}{\partial z}$)ELEVES -

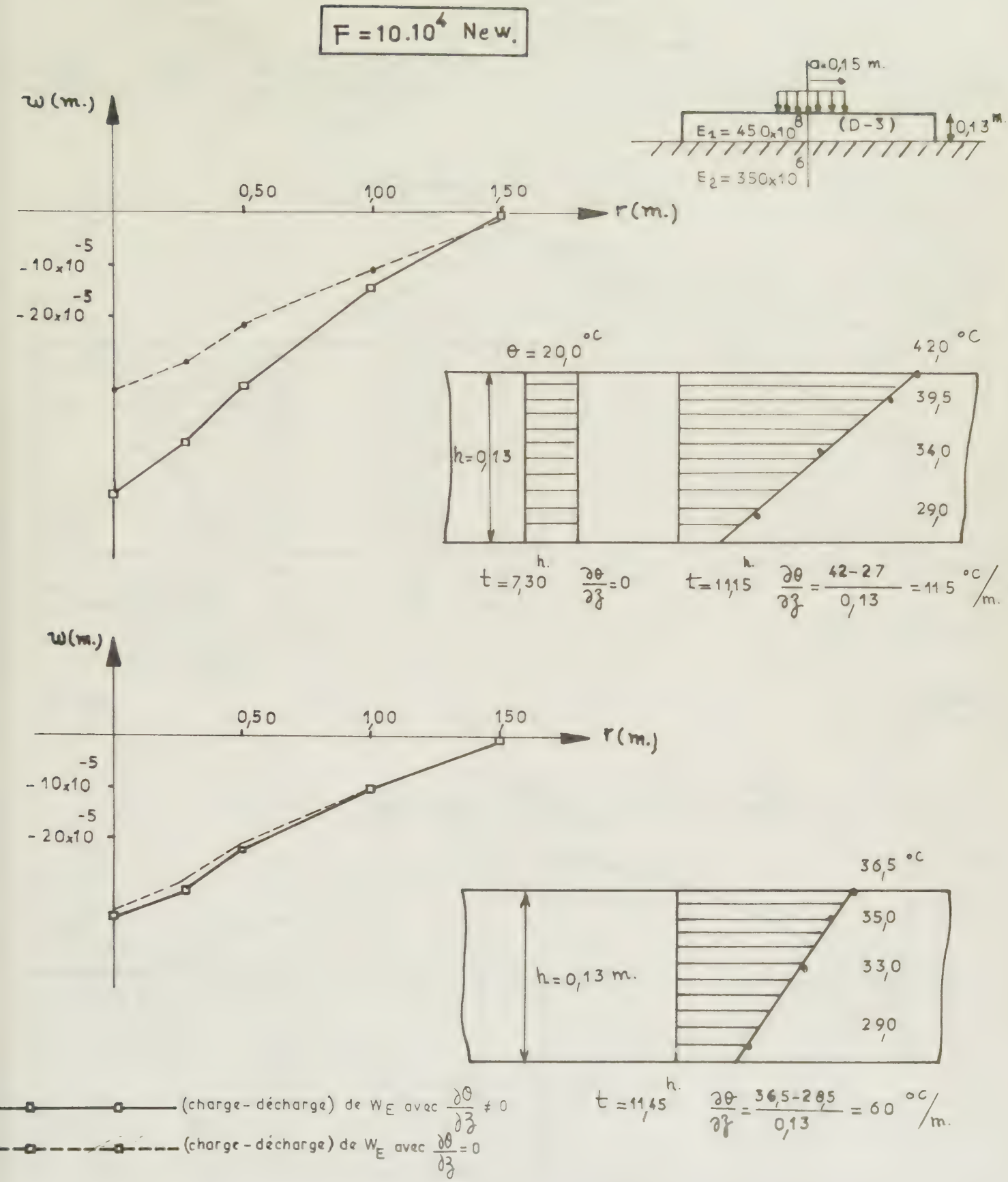
FIGURE 65 -





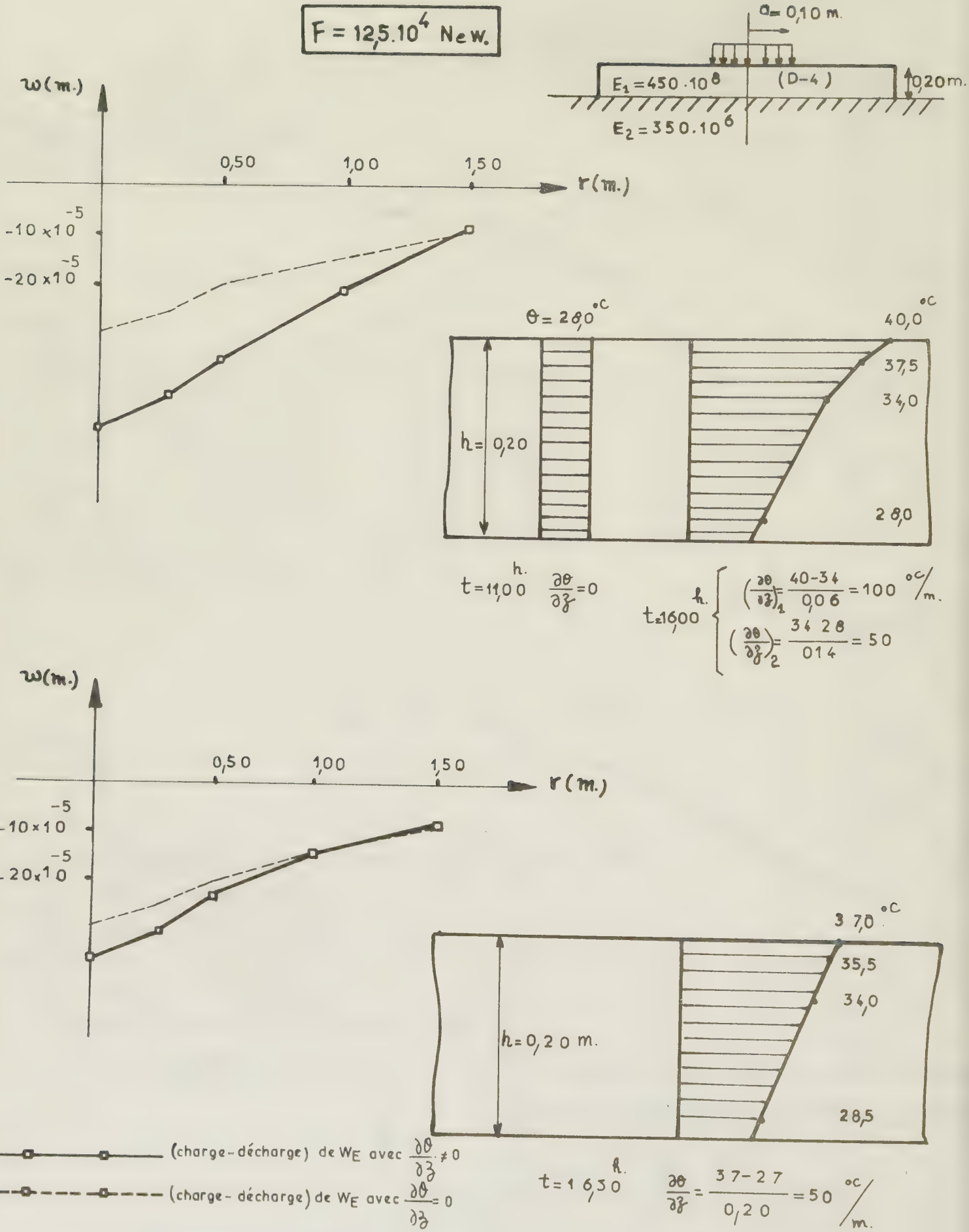
DECOLLAGES DE LA (D - 3) SOUS LES ($\frac{\partial \theta}{\partial z}$) ELEVES

FIGURE 66 -



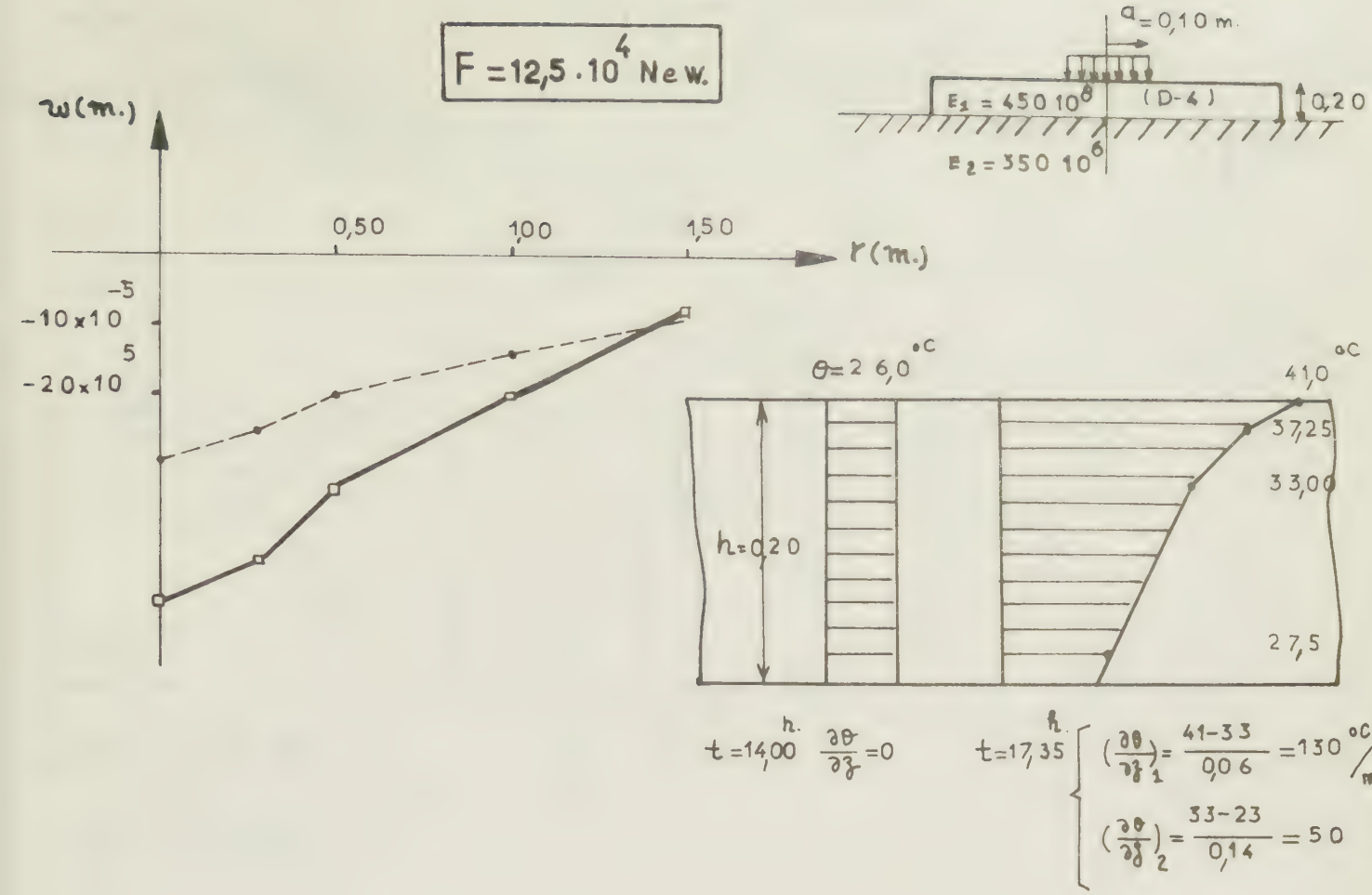
DECOLLAGES DE LA (D-3) SOUS LES ($\frac{\partial \theta}{\partial z}$) ELEVES.

FIGURE 67 -



DECOLLAGES DE LA (D-4) SOUS LES $(\frac{\partial\theta}{\partial z})$ ELEVES

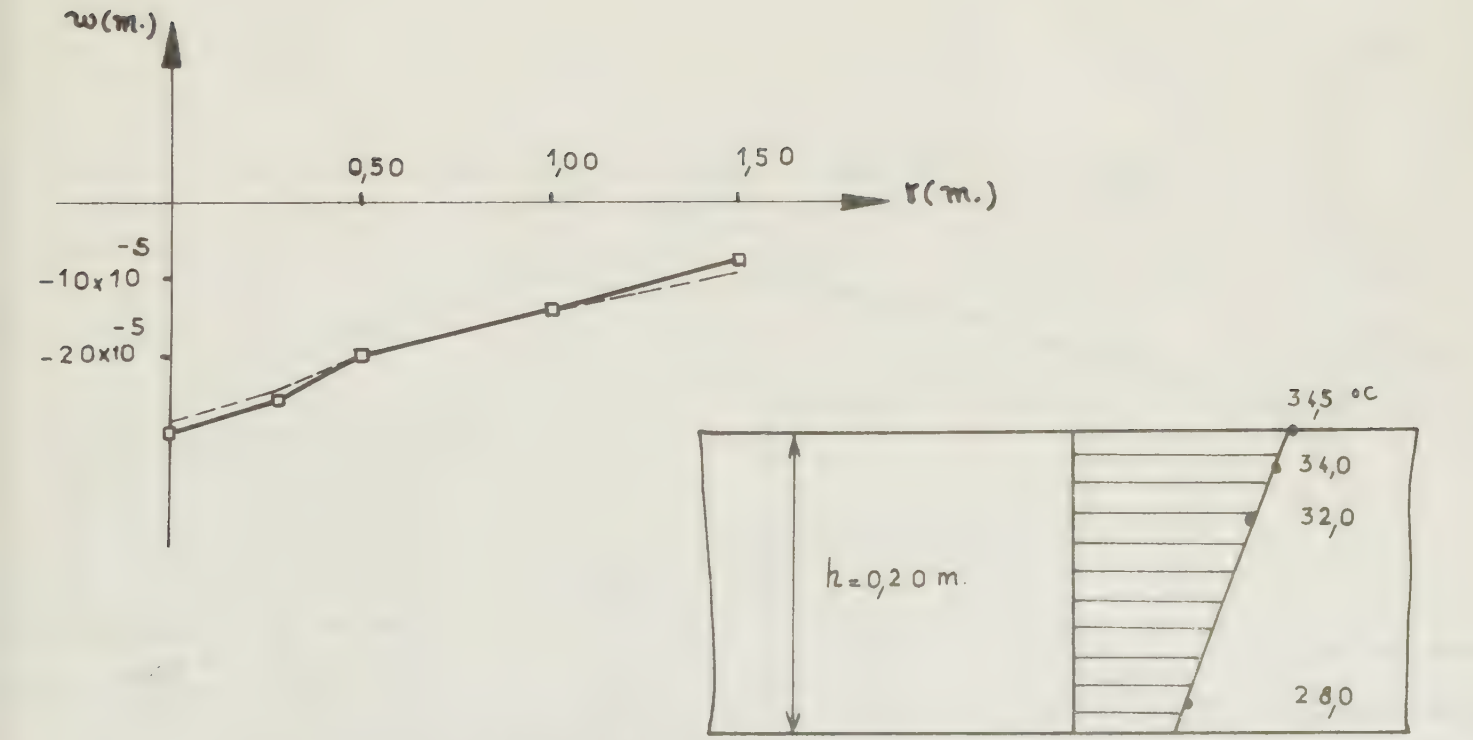
FIGURE 68 -



$t = 14,00^{h.}$ $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$t = 17,35^{h.}$ $\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{41-33}{0,06} = 130\ ^{\circ}C/m.$

$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{33-23}{0,14} = 50$



$t = 18,20^{h.}$ $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{34,5-27}{0,20} = 40\ ^{\circ}C/m.$

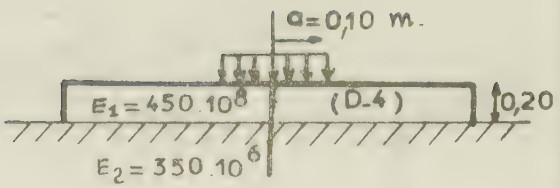
(charge-décharge) de W_E avec $\frac{\partial \theta}{\partial z} \neq 0$

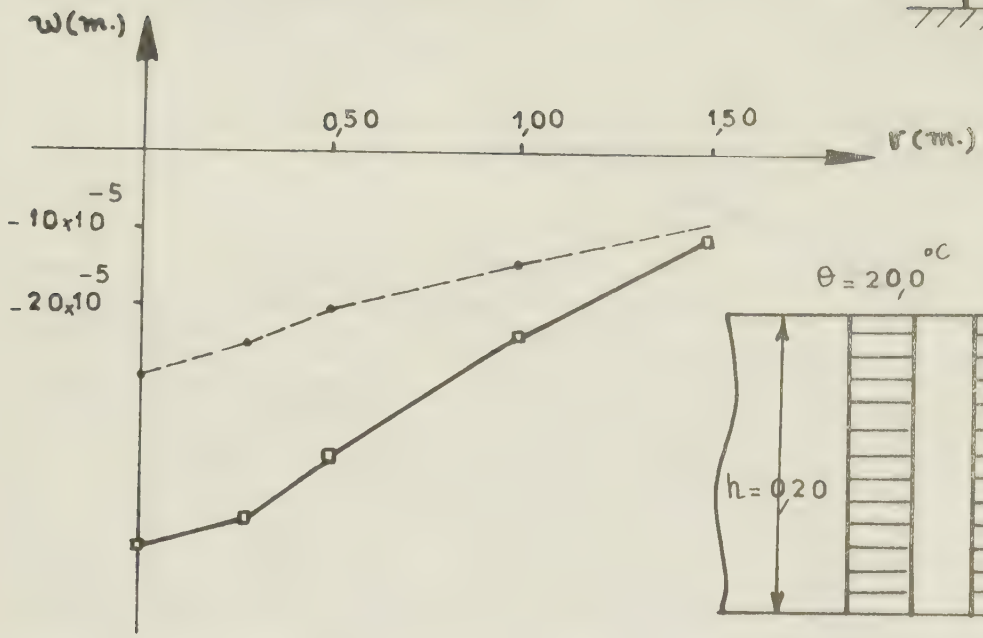
(charge-décharge) de W_E avec $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

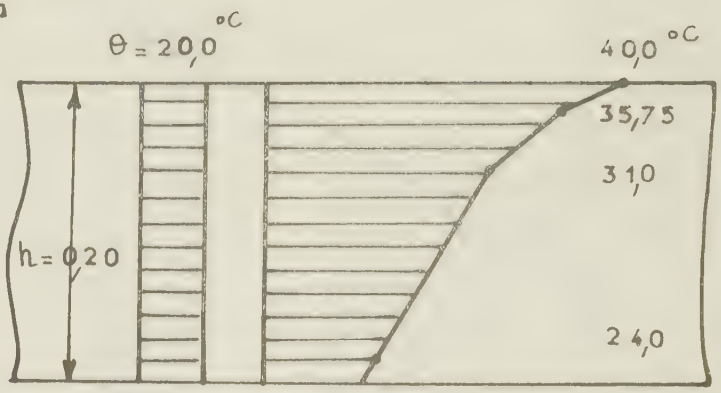
DECOLLAGES DE LA (D-4) SOUS LES $(\frac{\partial \theta}{\partial z})$ ELEVES

FIGURE 69 -

$F = 12{,}5.10^{4}$ New.



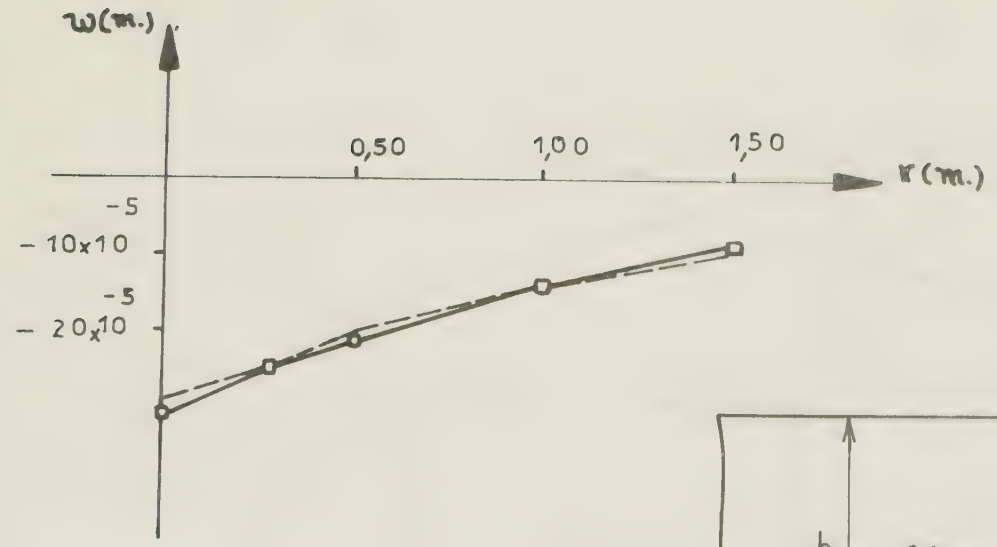


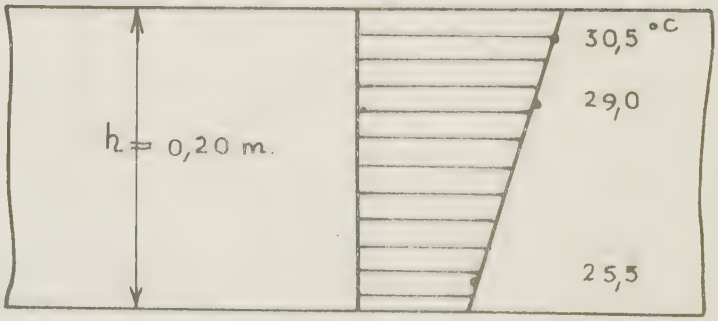


$t = 11{,}30$ h. $\quad \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$t = 14{,}30$ h. $\quad \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{40-31}{0{,}06} = 150$ °C/m.

$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{31\ 23}{0\ 14} = 57$





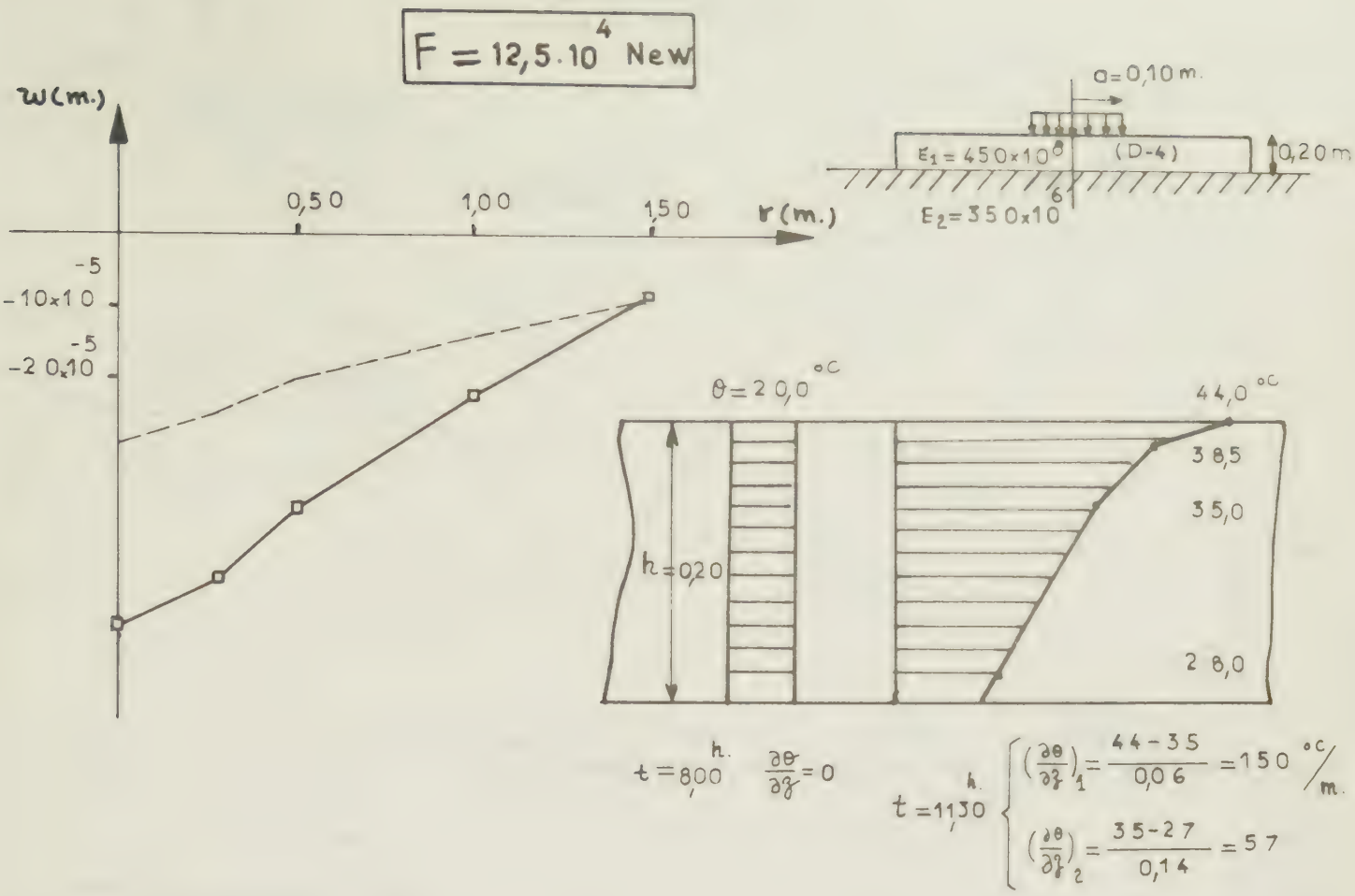
(charge-décharge) de W_E avec $\frac{\partial \theta}{\partial z} \neq 0$

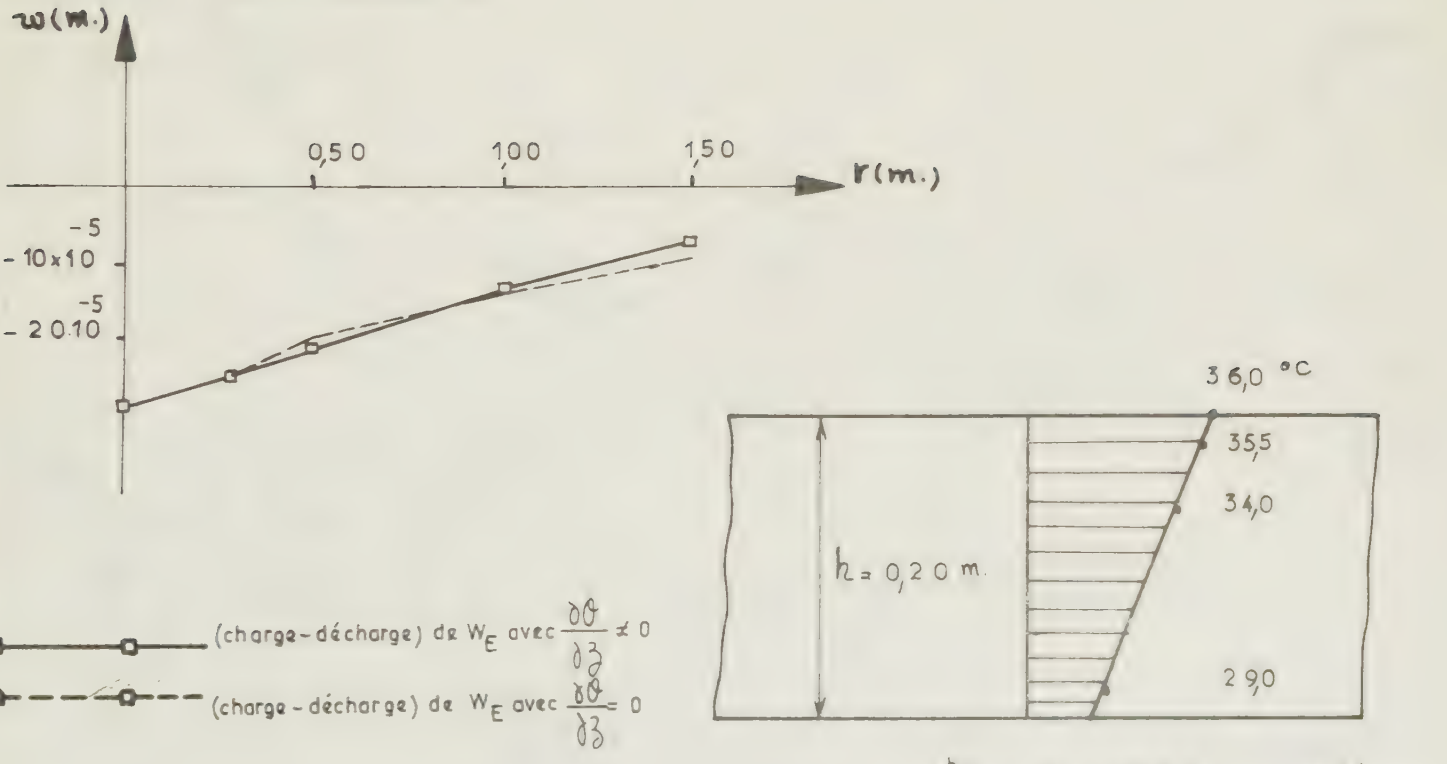
(charge-décharge) de W_E avec $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

$t = 16{,}00$ h. $\quad \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{31-24}{0{,}20} = 35$ °C/m.

DECOLLAGES DE LA (D-4) SOUS LES $(\frac{\partial \theta}{\partial z})$ ELEVES

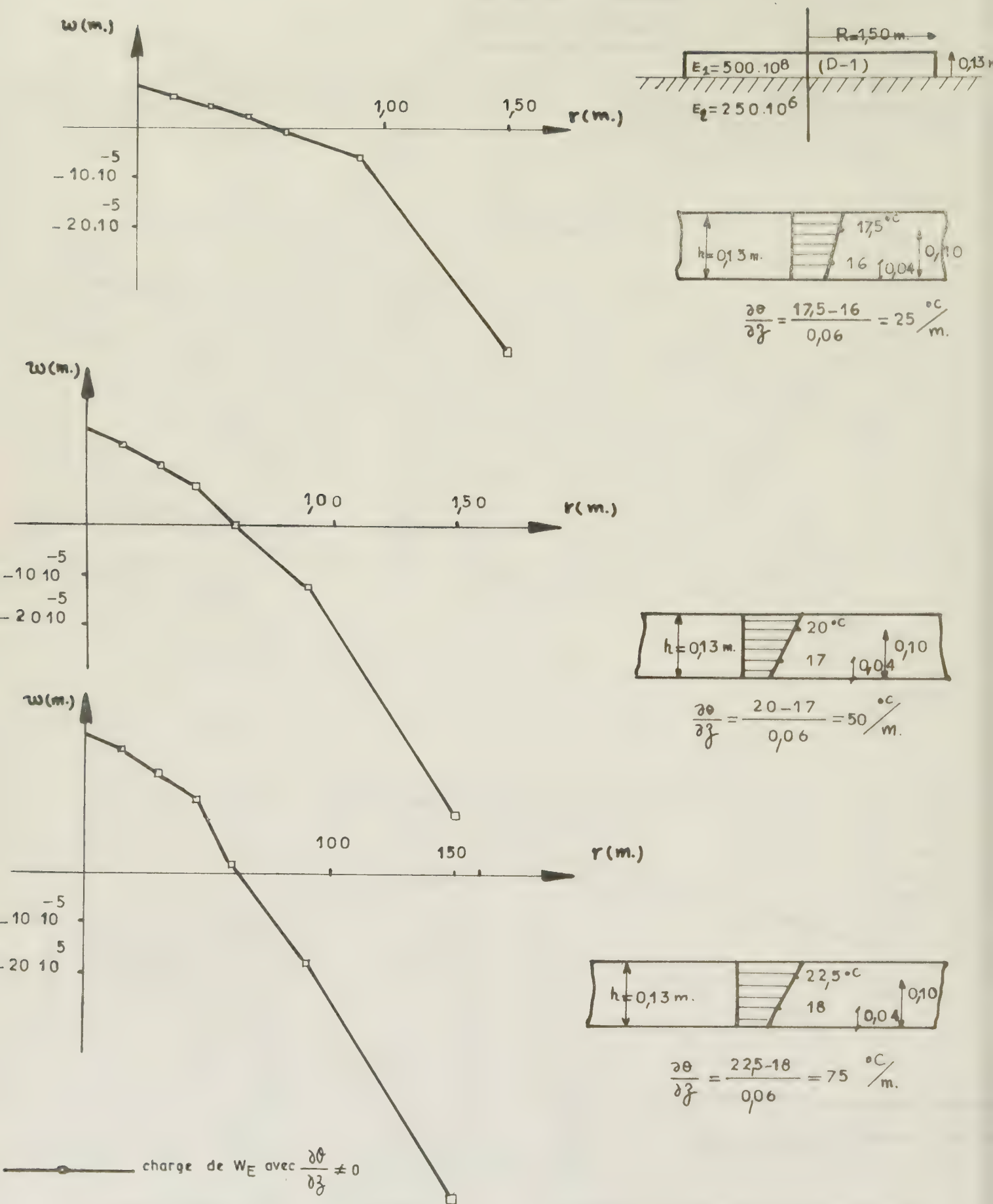
FIGURE 70 -





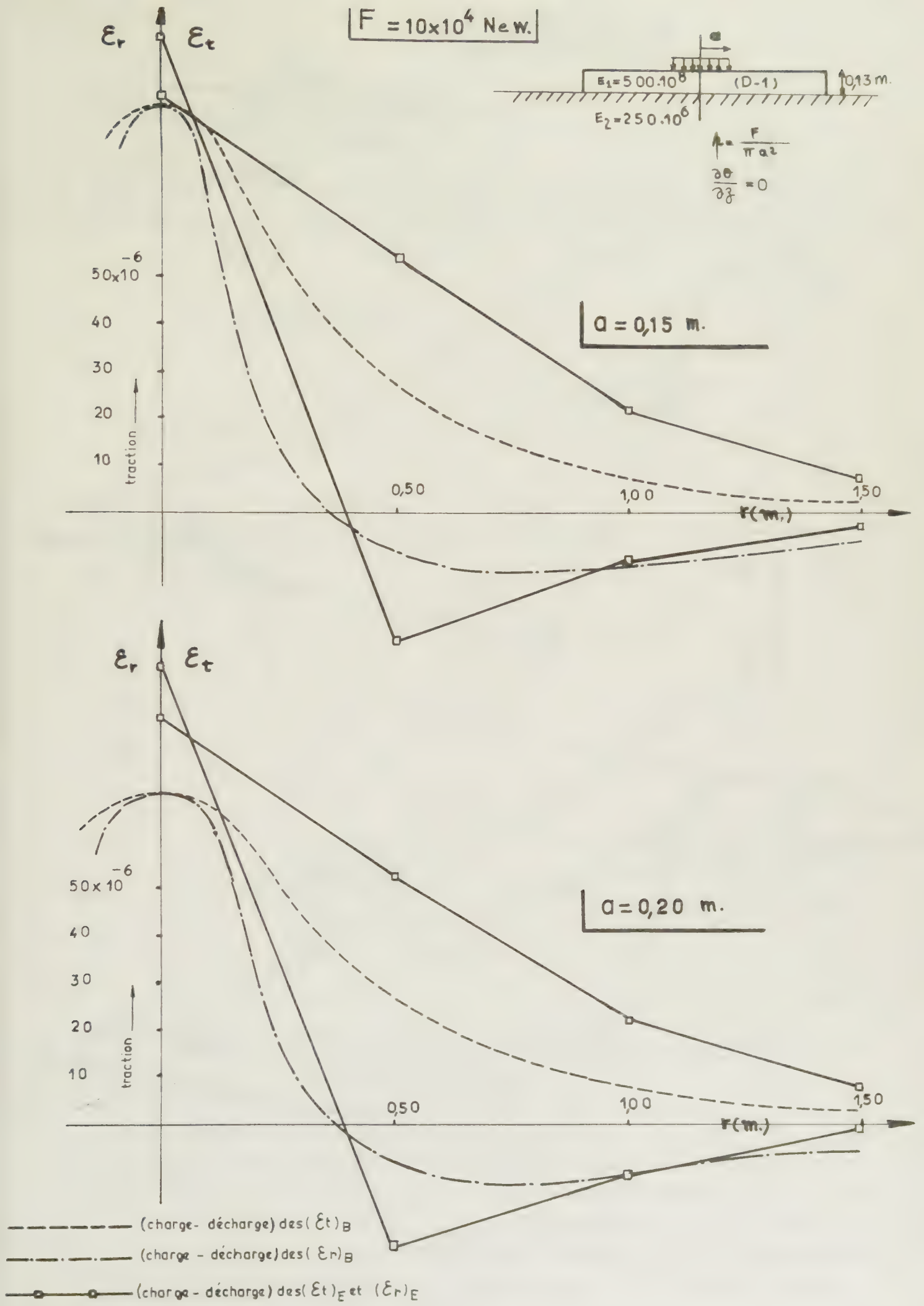
DECOLLAGES DE LA (D-4) SOUS LES $(\frac{\partial \theta}{\partial z})$ ELEVES

FIGURE 71 -



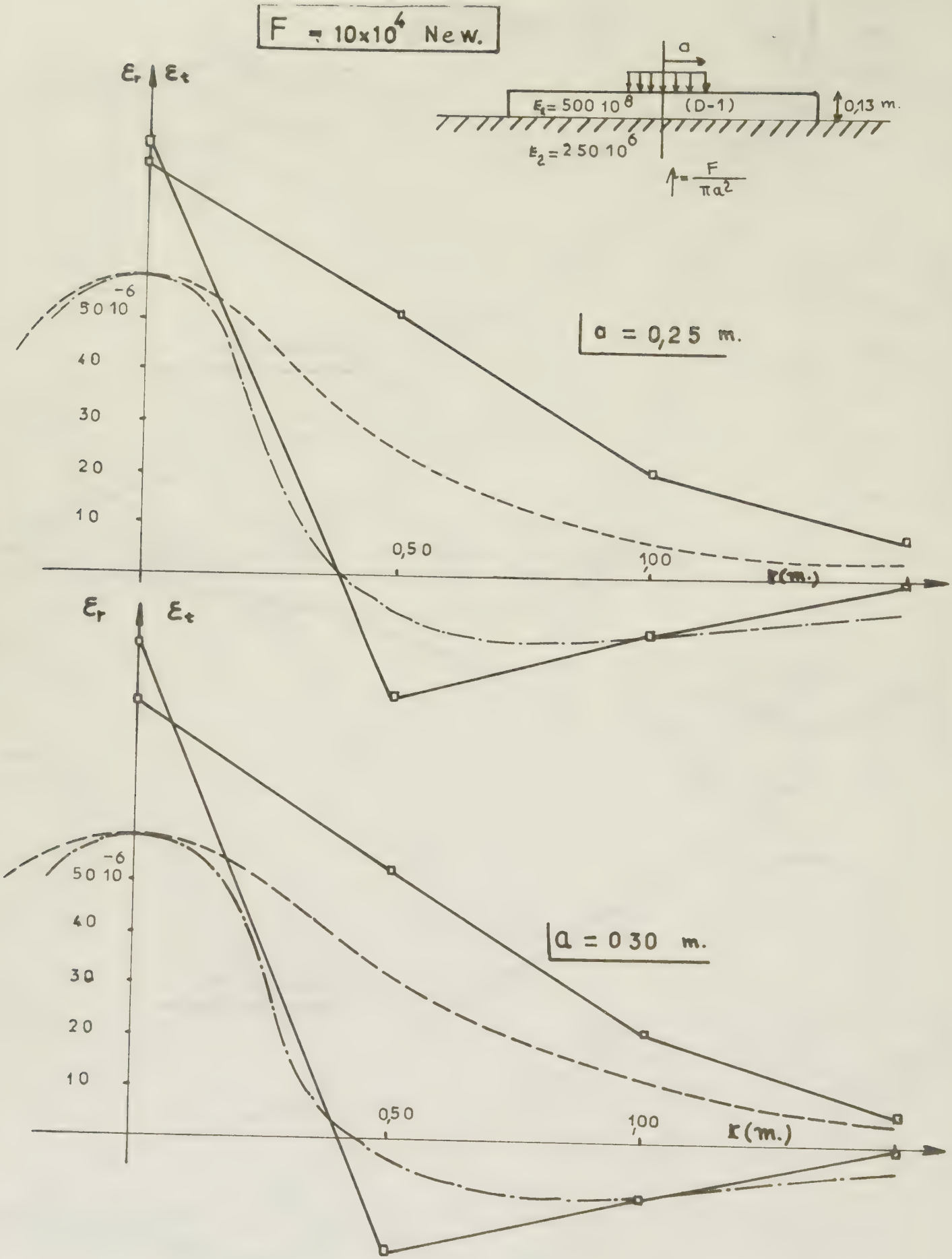
REPARTITIONS DES W A LA SURFACE DE LA (D-1) SOUS LES CHARGES THERMIQUES.

FIGURE 72 -



REPARTITIONS DES (εr) ET (εt) A L'INTERFACE DE LA (D-1) SOUS LES CHARGES STATIQUES

FIGURE 72



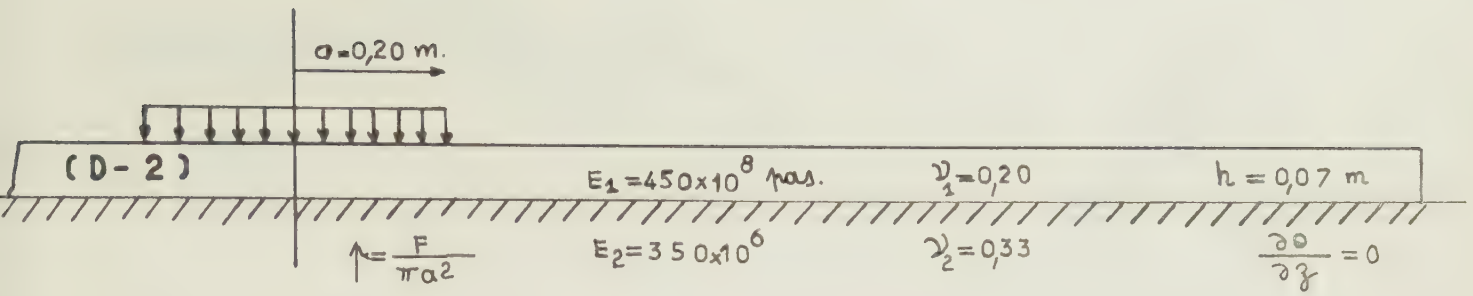
(charge - décharge) des $(\varepsilon t)_B$

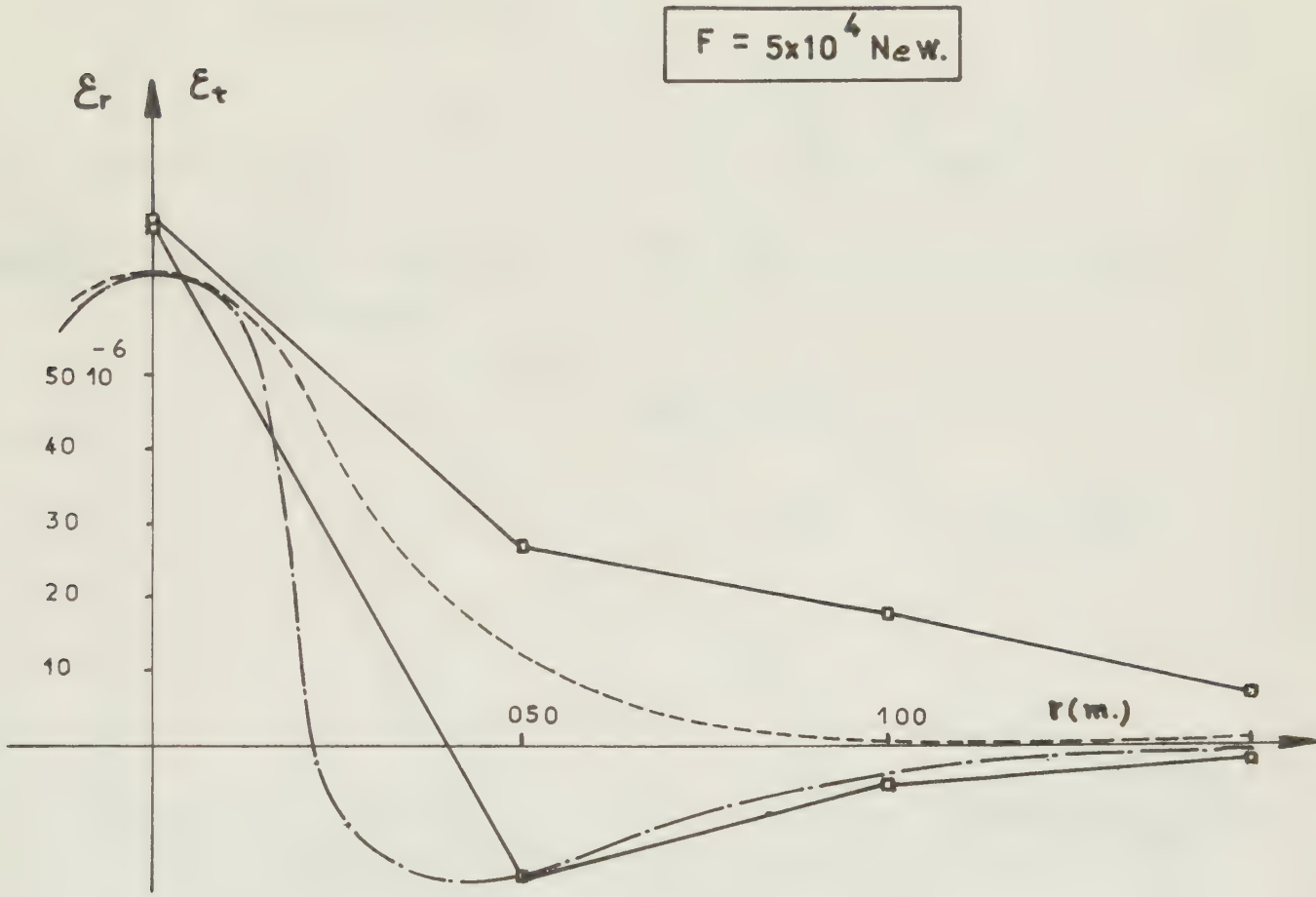
(charge - décharge) des $(\varepsilon r)_B$

(charge - décharge) des $(\varepsilon t)_E$ et $(\varepsilon r)_E$

REPARTITIONS DES (εt, εr) A L'INTERFACE DE LA (D-1) SOUS LES CHARGES STATIQUES.

FIGURE 74 -





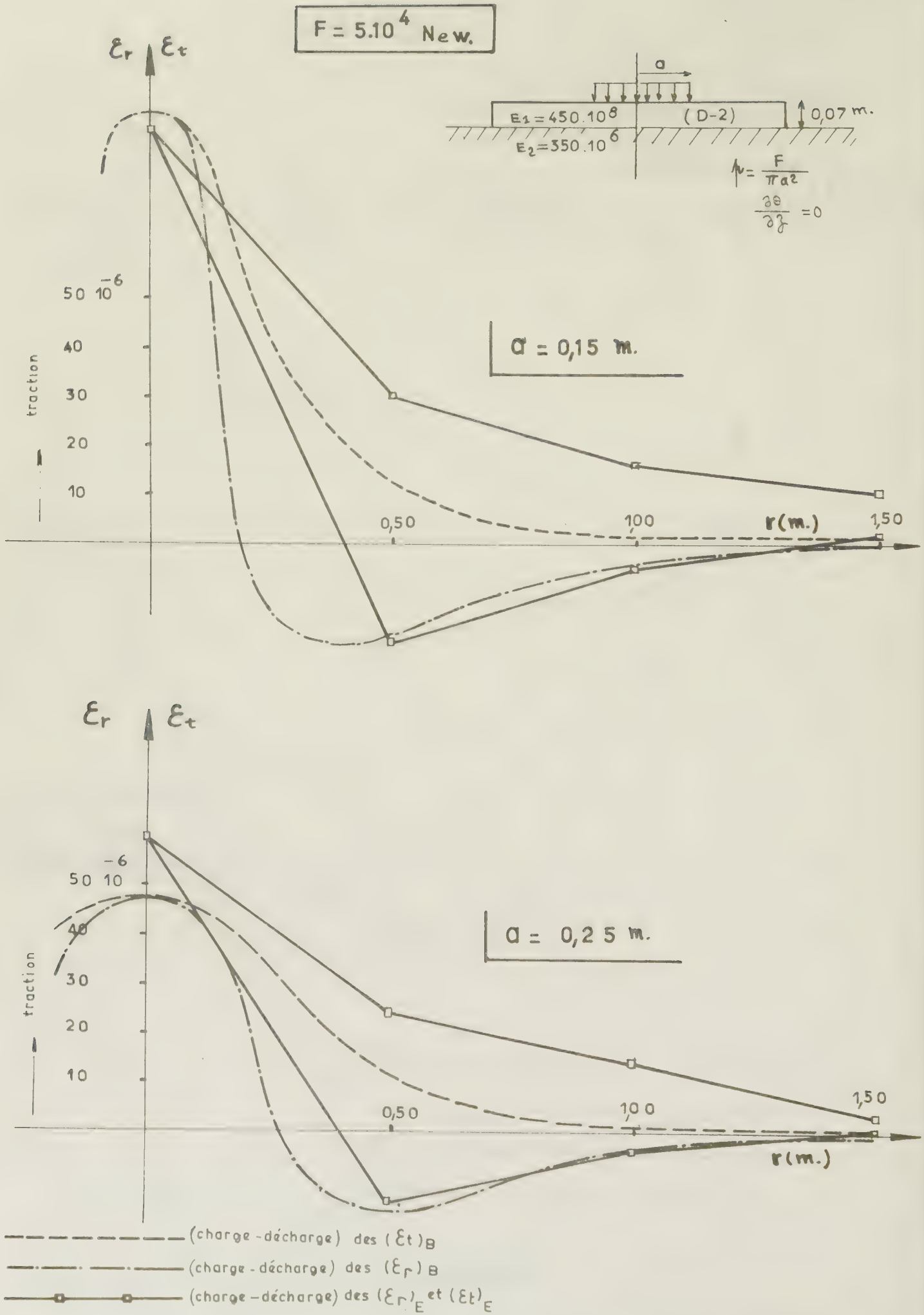
(charge-décharge) des $(\varepsilon t)_B$

(charge-décharge) des $(\varepsilon_r)_B$

(charge-décharge) des $(\varepsilon t)_E$ et $(\varepsilon_r)_E$

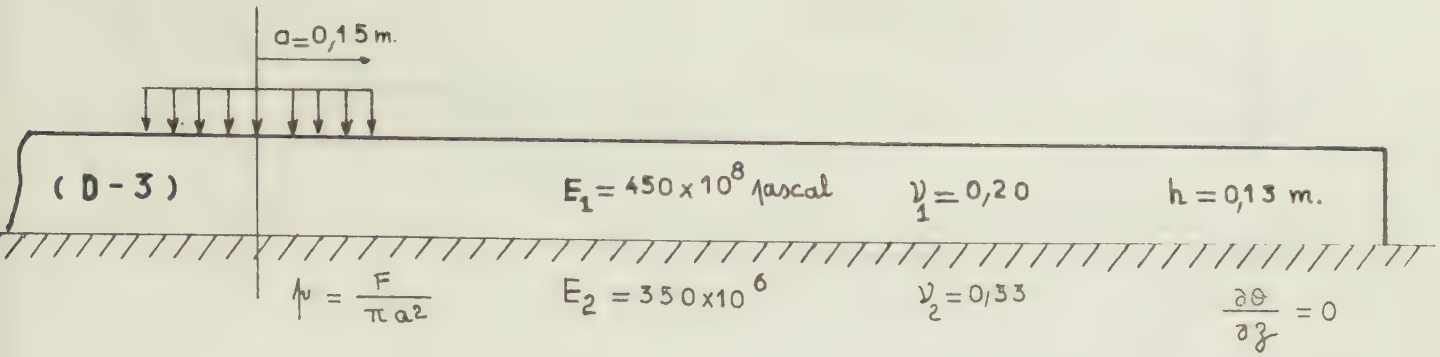
REPARTITIONS DES (ε_r, εt) A L'INTERFACE DE LA (D-2) SOUS LES CHARGES STATIQUES.

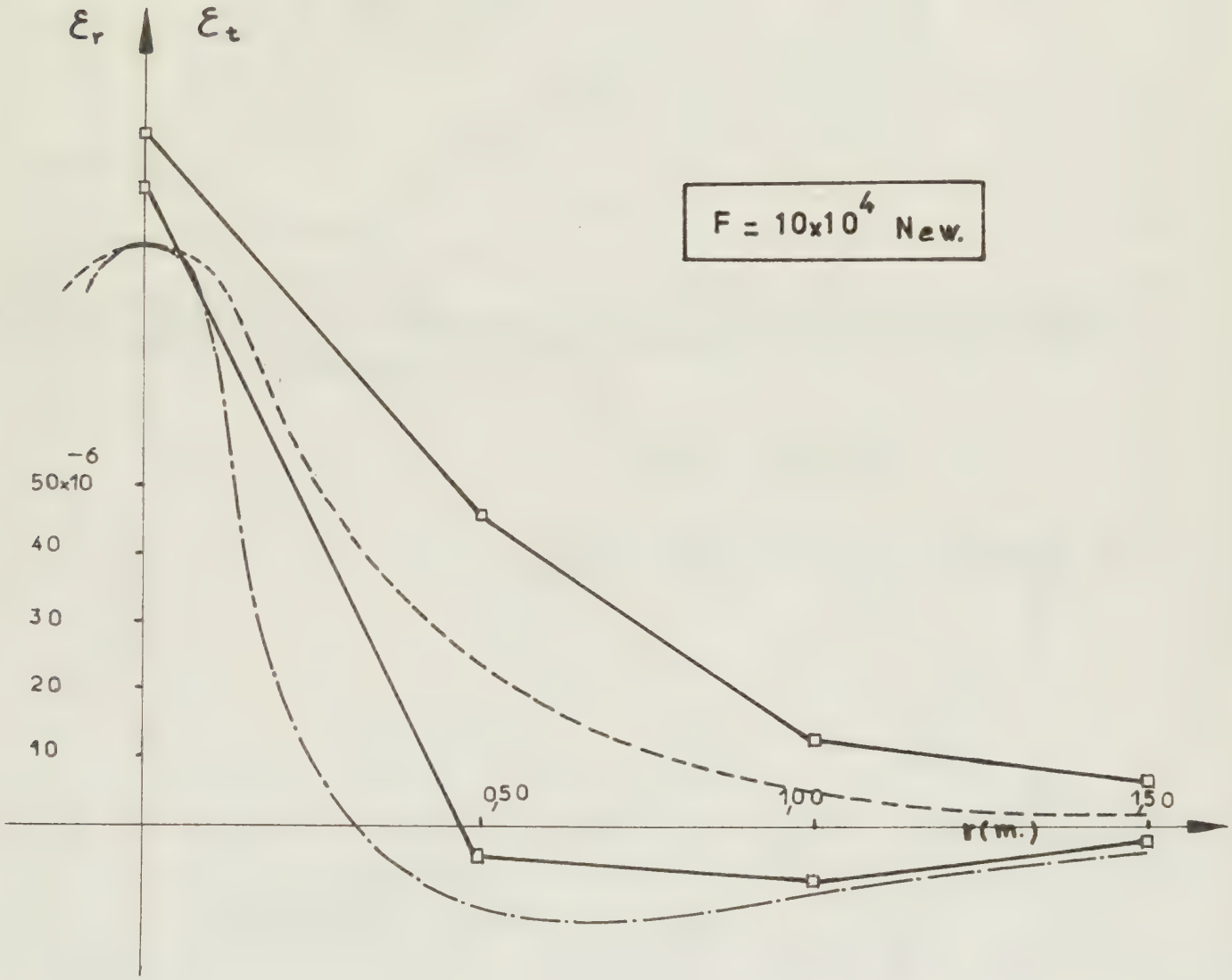
FIGURE 75 -



REPARTITIONS DES (ε_r et ε_t) A L'INTERFACE DE LA (D - 2) SOUS LES CHARGES STATIQUES

FIGURE 76 -





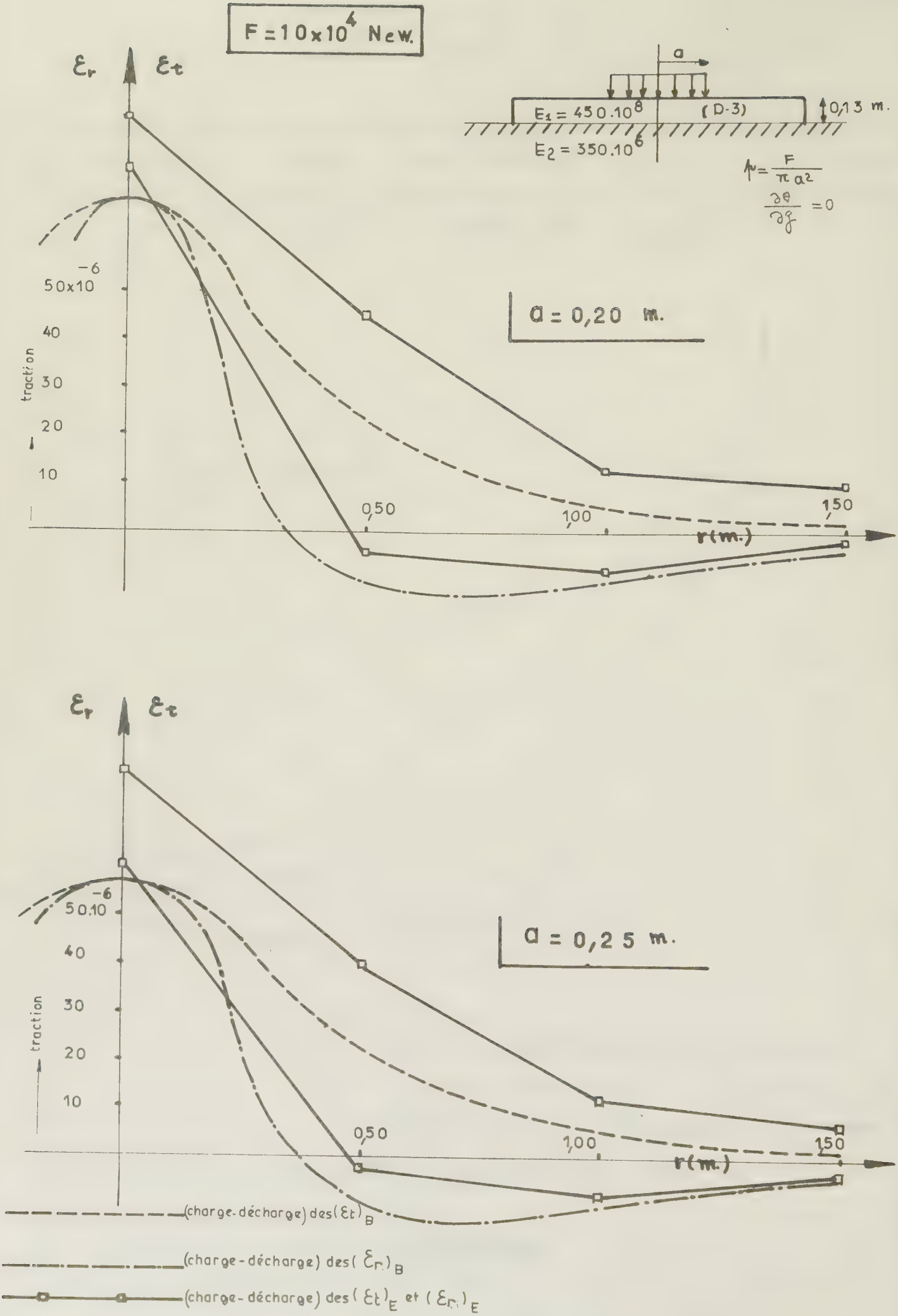
(charge - décharge) des $(\varepsilon t)_B$

(charge - décharge) des $(\varepsilon_r)_B$

(charge - décharge) des $(\varepsilon t)_E$ et $(\varepsilon_r)_E$

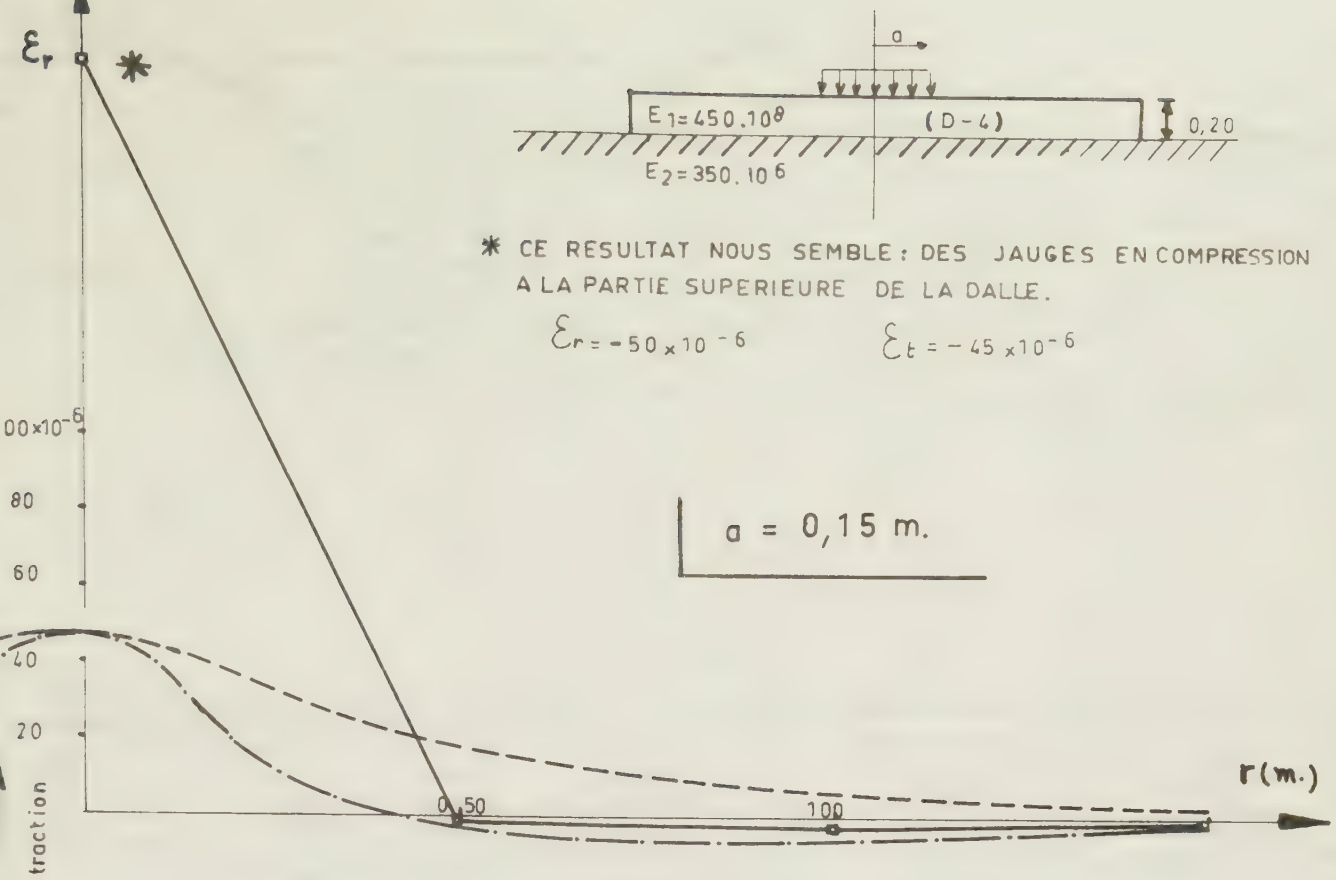
LES REPARTITIONS DES (ε_r , εt) A L'INTERFACE DE LA (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES

FIGURE 77 -



REPARTITIONS DES (ε_r , ε_t) A L'INTERFACE DE LA (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES -

FIGURE 78

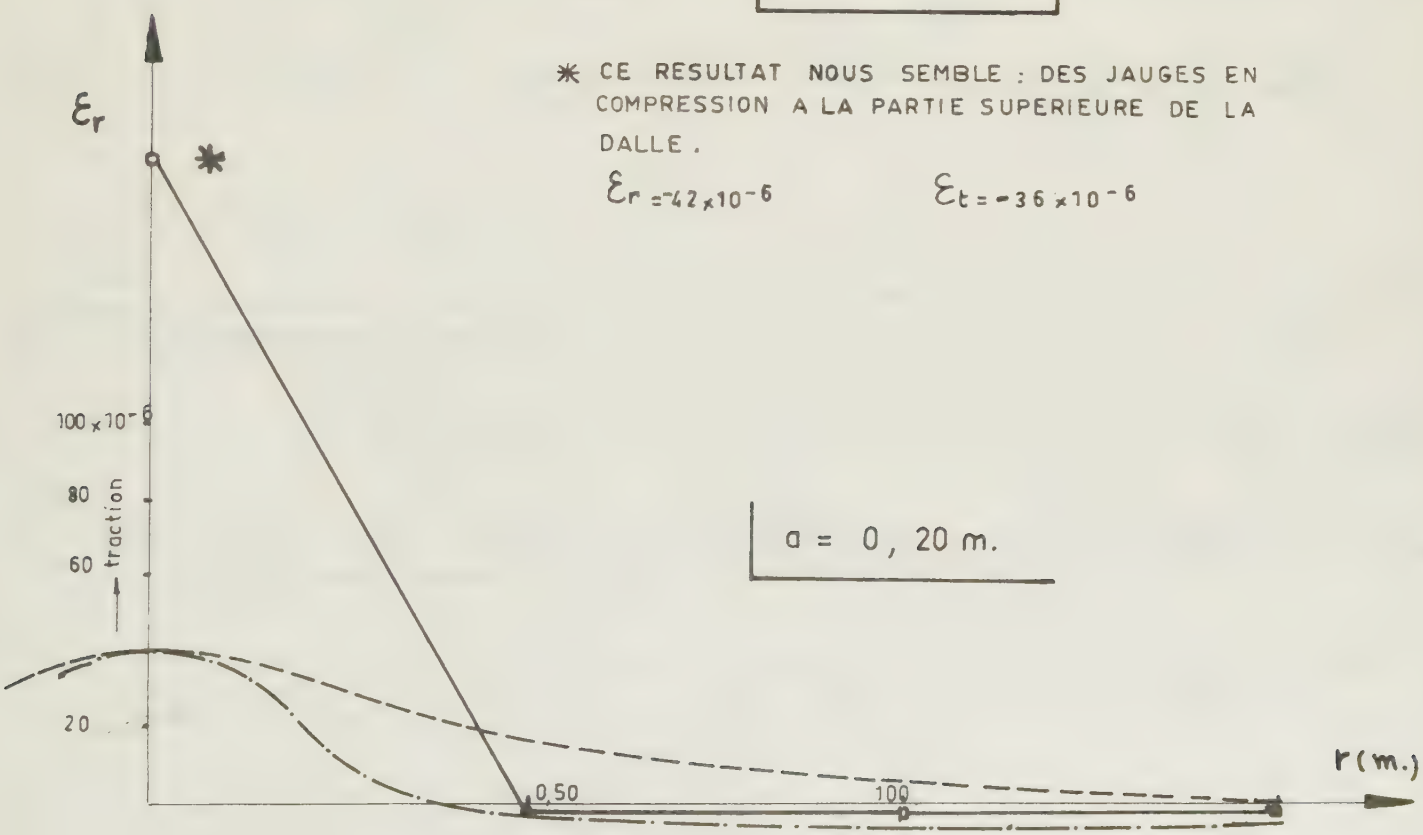


* CE RESULTAT NOUS SEMBLE : DES JAUGES EN COMPRESSION A LA PARTIE SUPERIEURE DE LA DALLE.

$\varepsilon_r = -50 \times 10^{-6}$ $\varepsilon_t = -45 \times 10^{-6}$

a = 0,15 m.

F = 10 x 10⁴ New.



* CE RESULTAT NOUS SEMBLE : DES JAUGES EN COMPRESSION A LA PARTIE SUPERIEURE DE LA DALLE.

$\varepsilon_r = -42 \times 10^{-6}$ $\varepsilon_t = -36 \times 10^{-6}$

a = 0, 20 m.

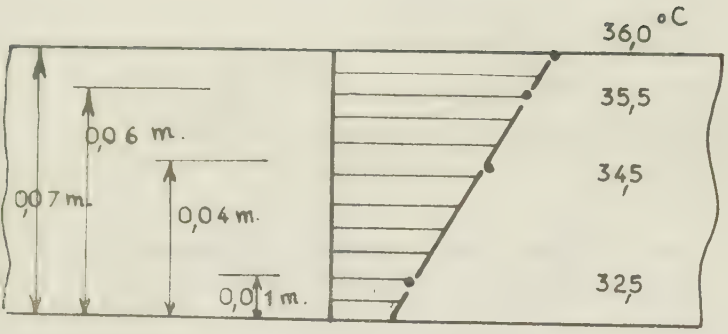
(charge-décharge) des $(\varepsilon_t)_B$

" " " $(\varepsilon_r)_B$

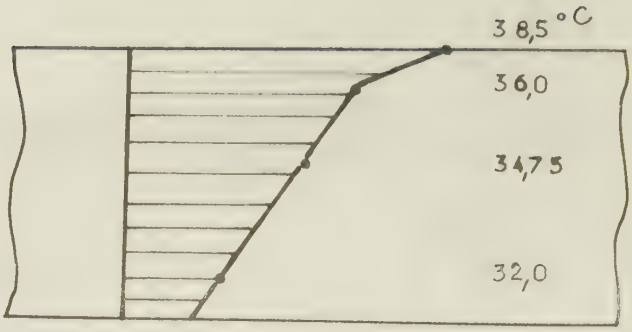
" " " $(\varepsilon_r)_E$

REPARTITIONS DES (ε_r) A L'INTERFACE DE LA (D-4) SOUS LES CHARGES STATIQUES.

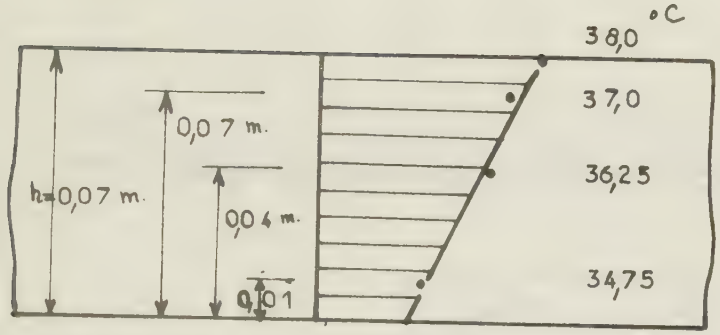
FIGURE 79 -



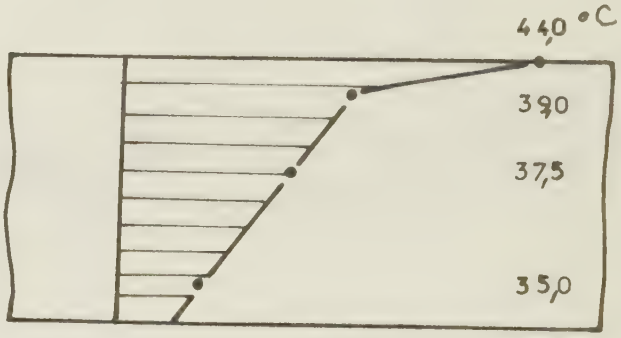
(1) : $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{36-32}{0,07} = 57$ °C/m.



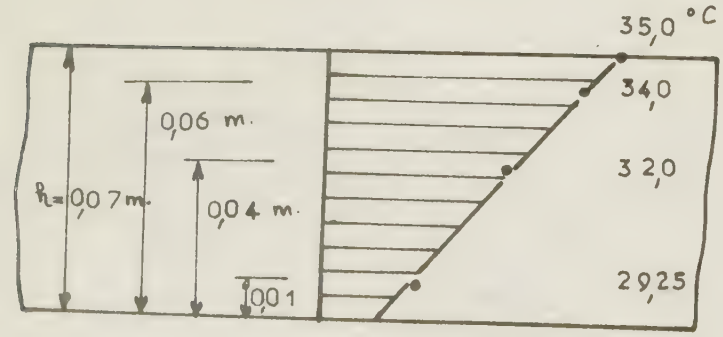
(1')



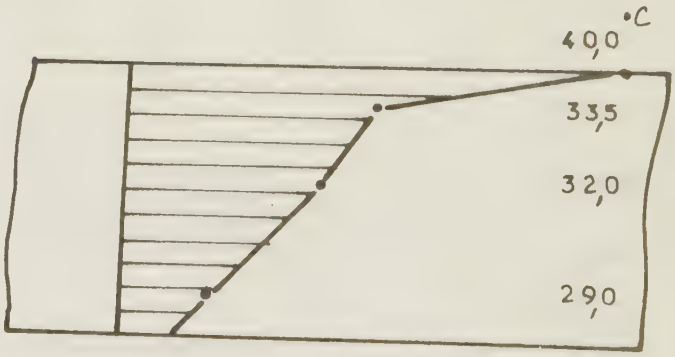
(2) : $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{38-34}{0,07} = 57$ °C/m.



(2')



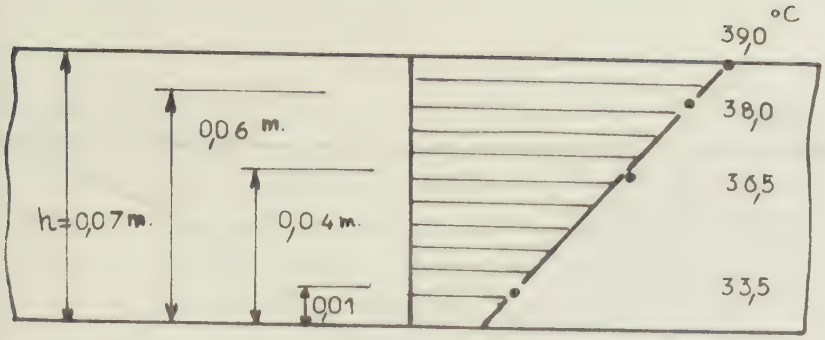
(3) $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{35-29}{0,07} = 85$ °C/m.

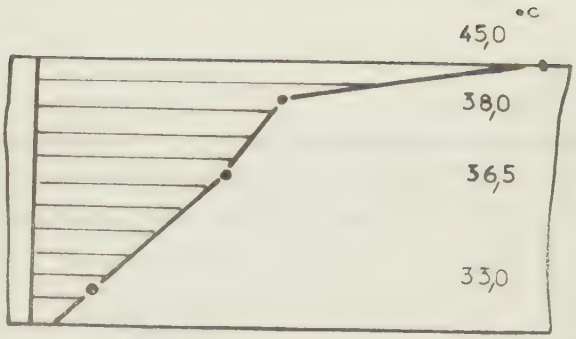


(3')

REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA(D-2).

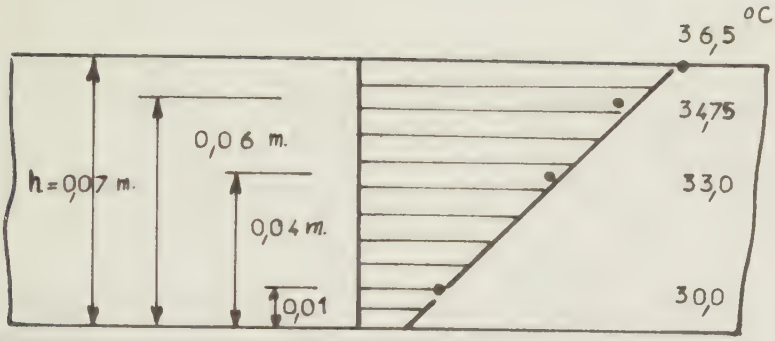
FIGURE 80 -

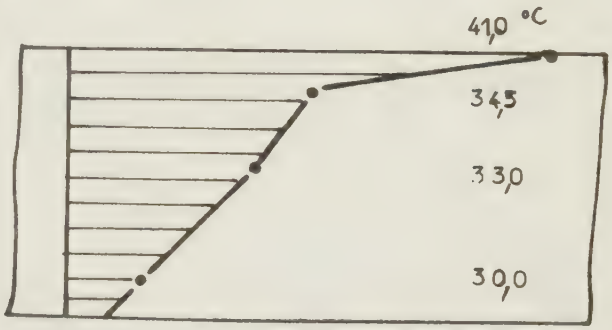




(4): $\frac{\partial\theta}{\partial x} = \frac{39\ 33}{0\ 0\ 7} = 85\ ^{oC}/_{m.}$

(4')





(5) $\frac{\partial\theta}{\partial x} = \frac{36-29}{0,07} = 100\ ^{oC}/_{m.}$

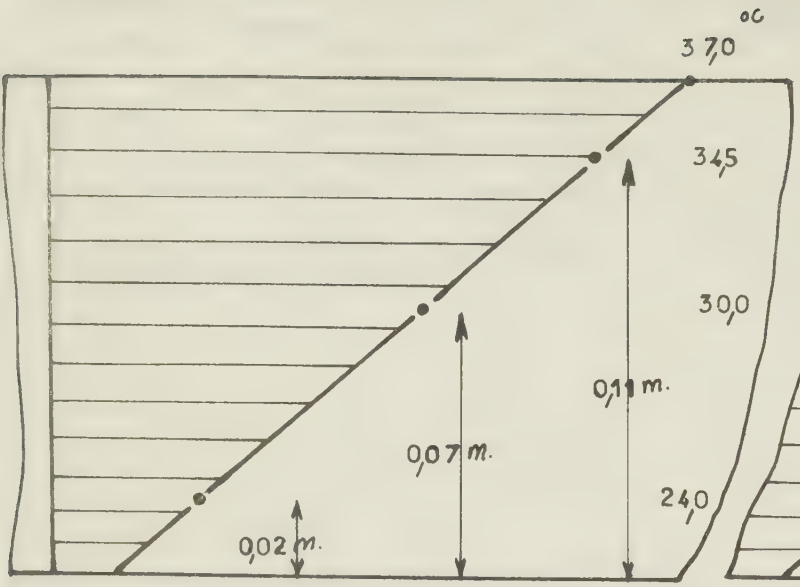
(5')

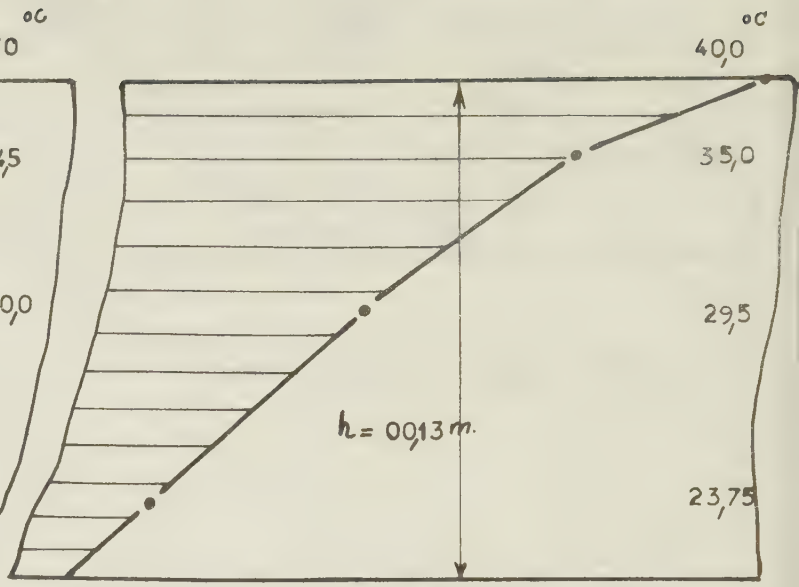
REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA (D-2).

(5) : après l'interruption du chauffage

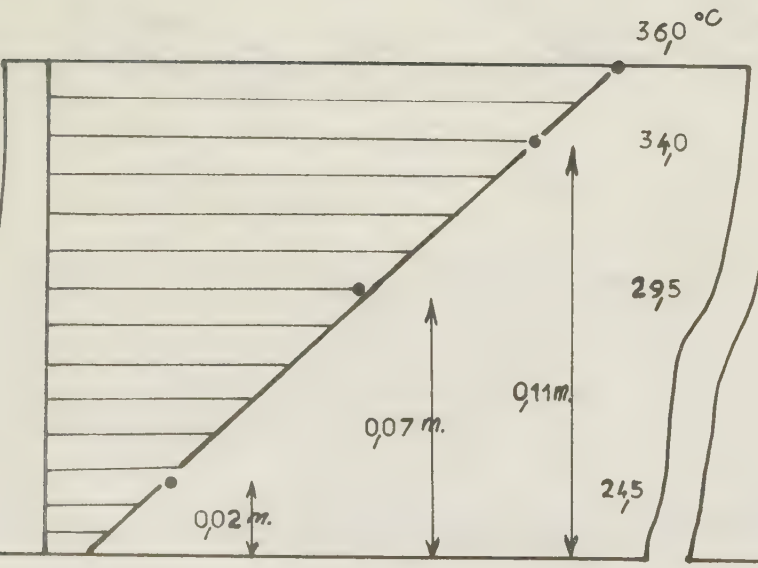
(5') : avant l'interruption du chauffage

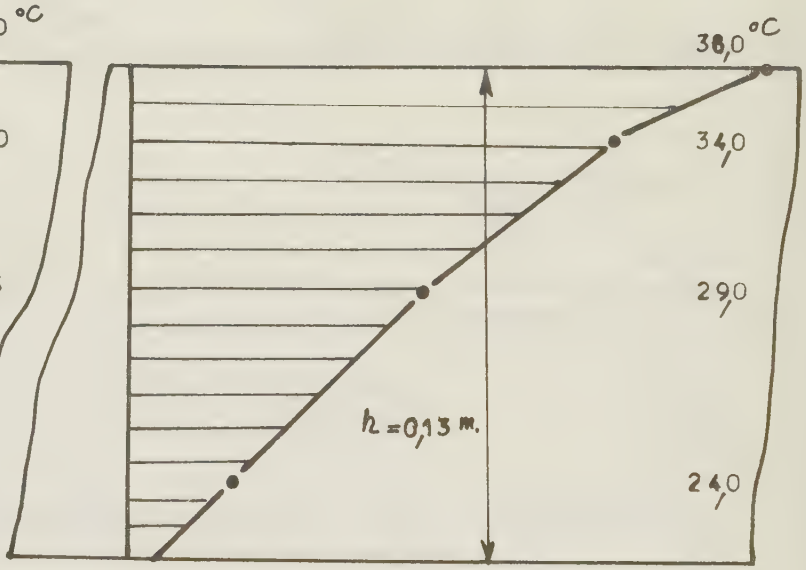
FIGURE 81 -





(6): $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{37\ 22}{013} = 115\ ^{oc}/_{m.}$ (6')

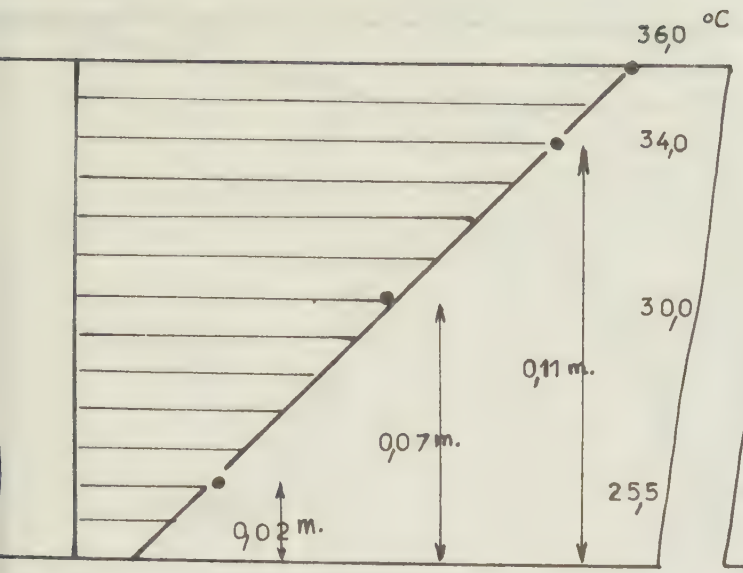


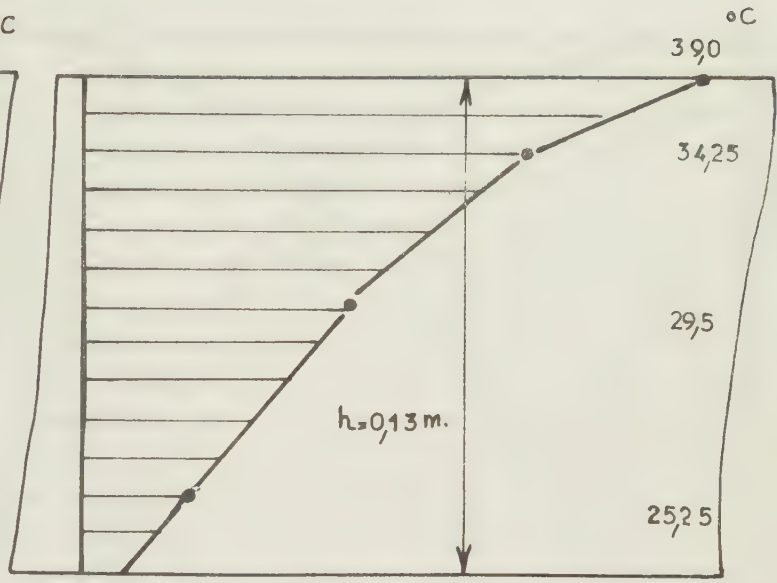


(7): $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{36-22}{0,13} = 107\ ^{oc}/_{m.}$ (7')

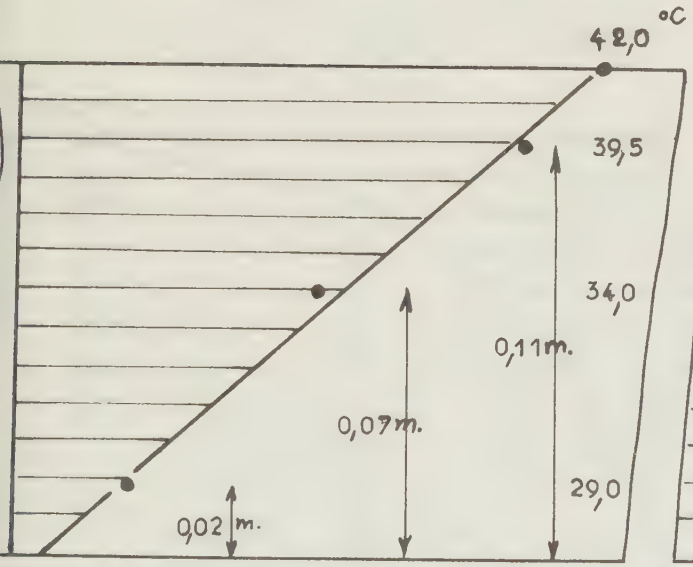
REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA (D-3).

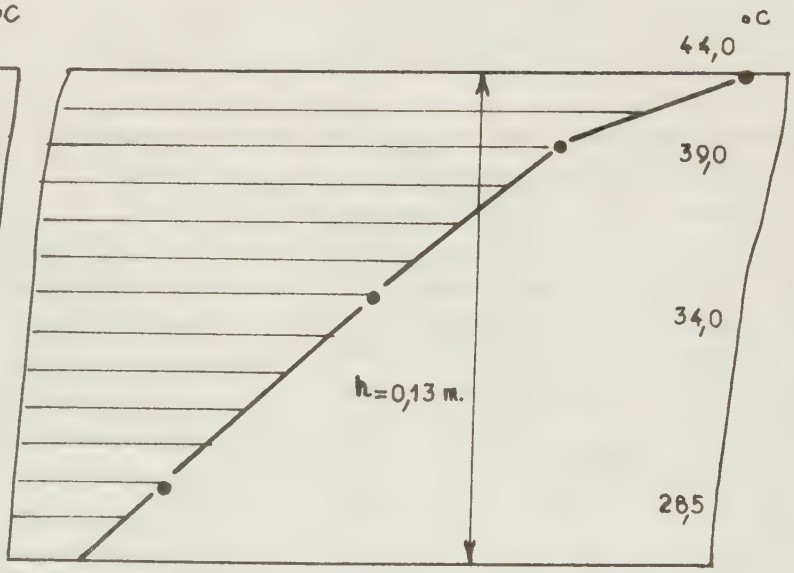
FIGURE 82 -





(8): $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{36-23}{0,13} = 100 \ ^{\circ}C/m.$ (8')

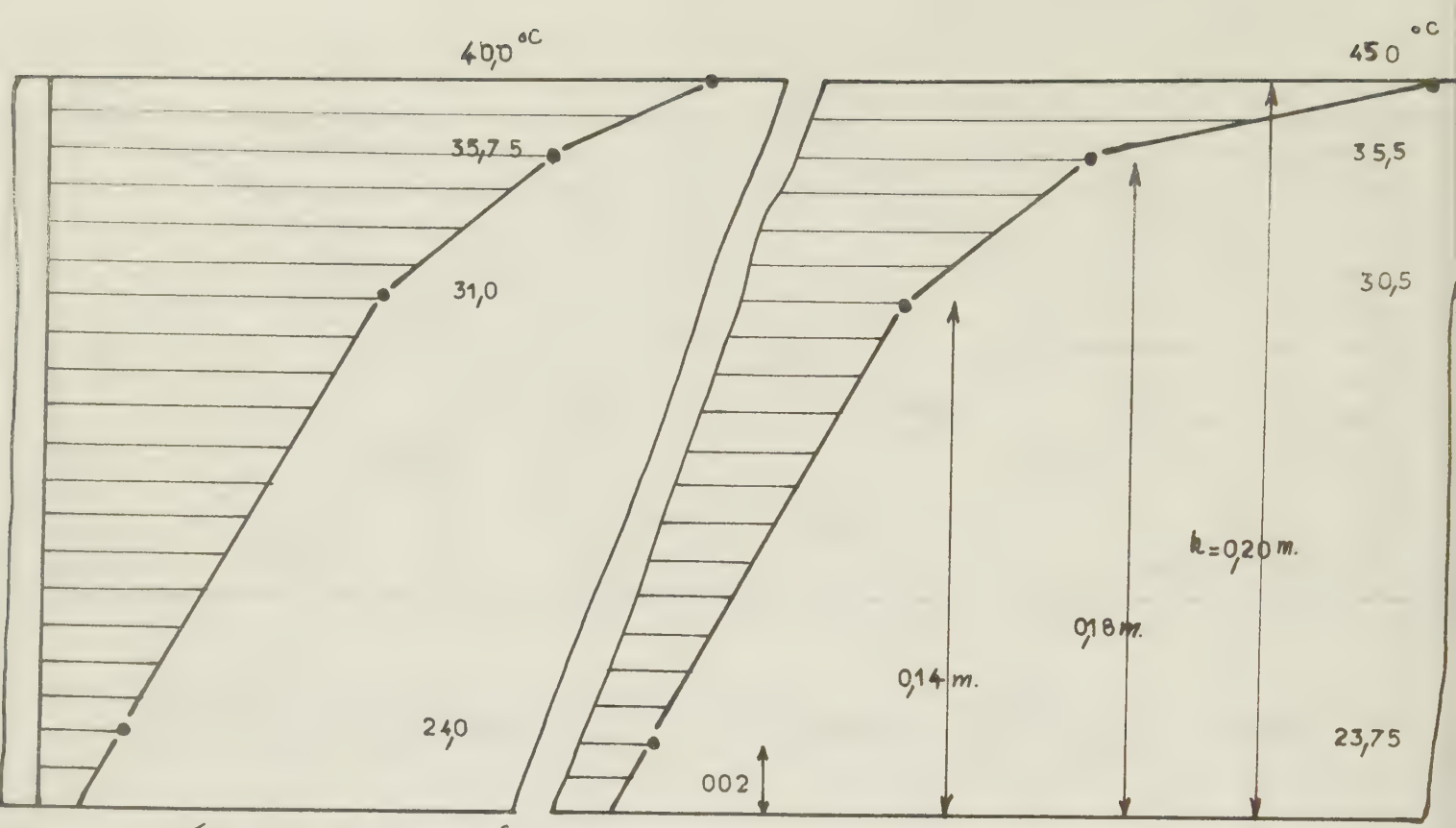




(9): $\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{42-27}{0,13} = 115 \ ^{\circ}C/m.$ (9')

REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA (D-3).

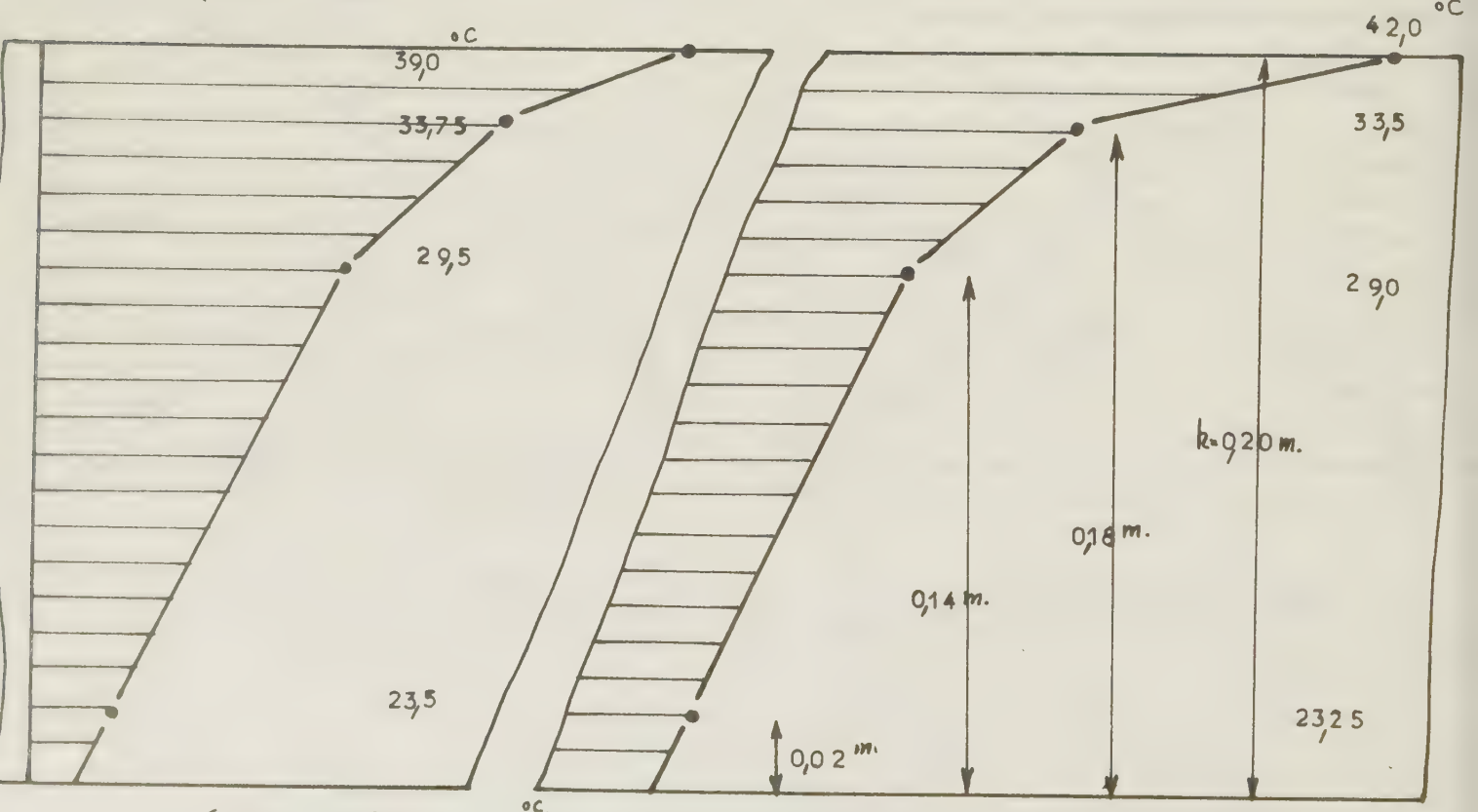
FIGURE 83 -



(10): $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{40\ 31}{006} = 150\ ^{oC}/_{m.}$

$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{31\ 23}{014} = 57$

(10')



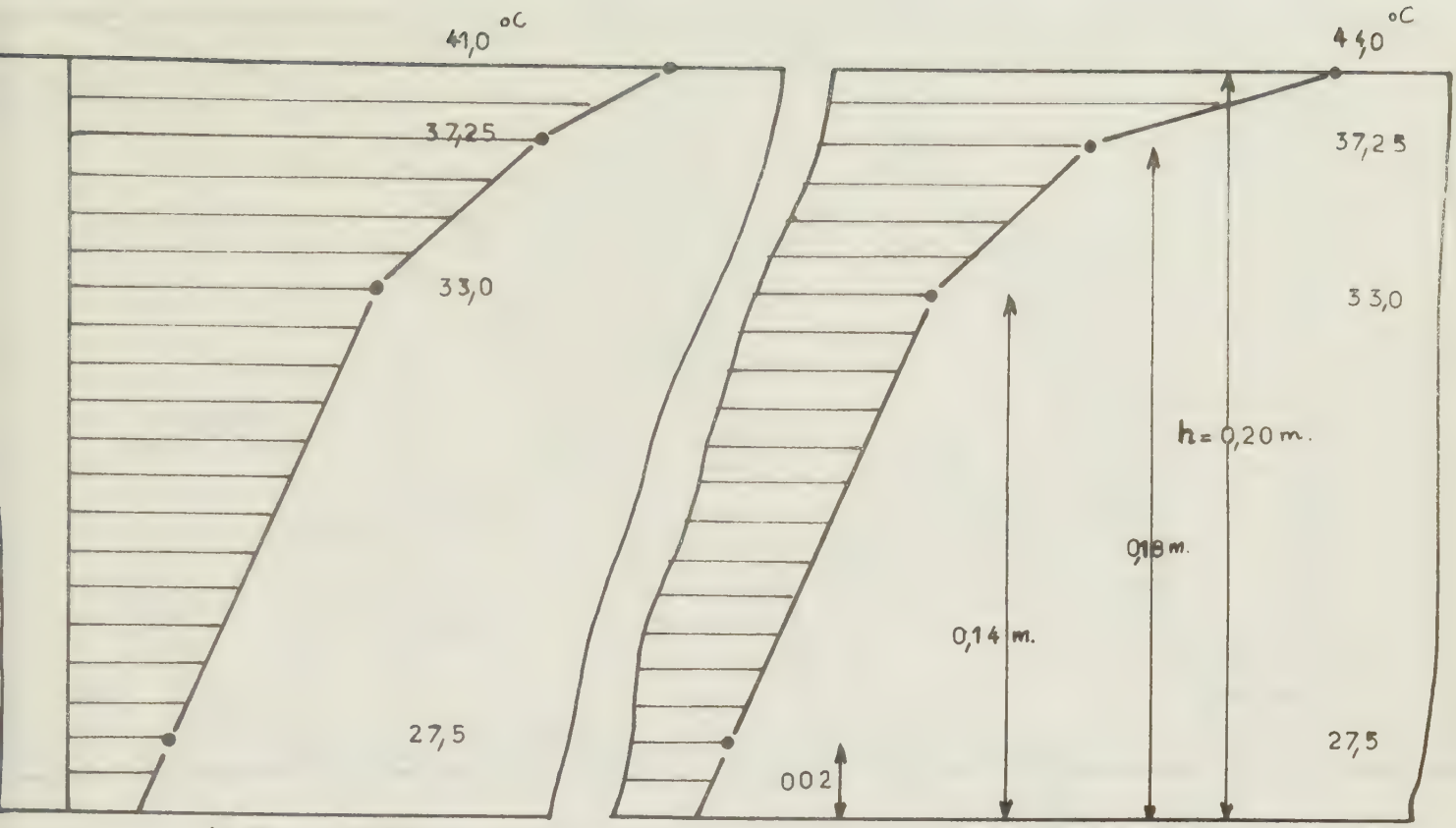
(11) $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{39-29,5}{0,06} = 153\ ^{oC}/_{m.}$

$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{29,5-22,5}{0,14} = 50$

(11')

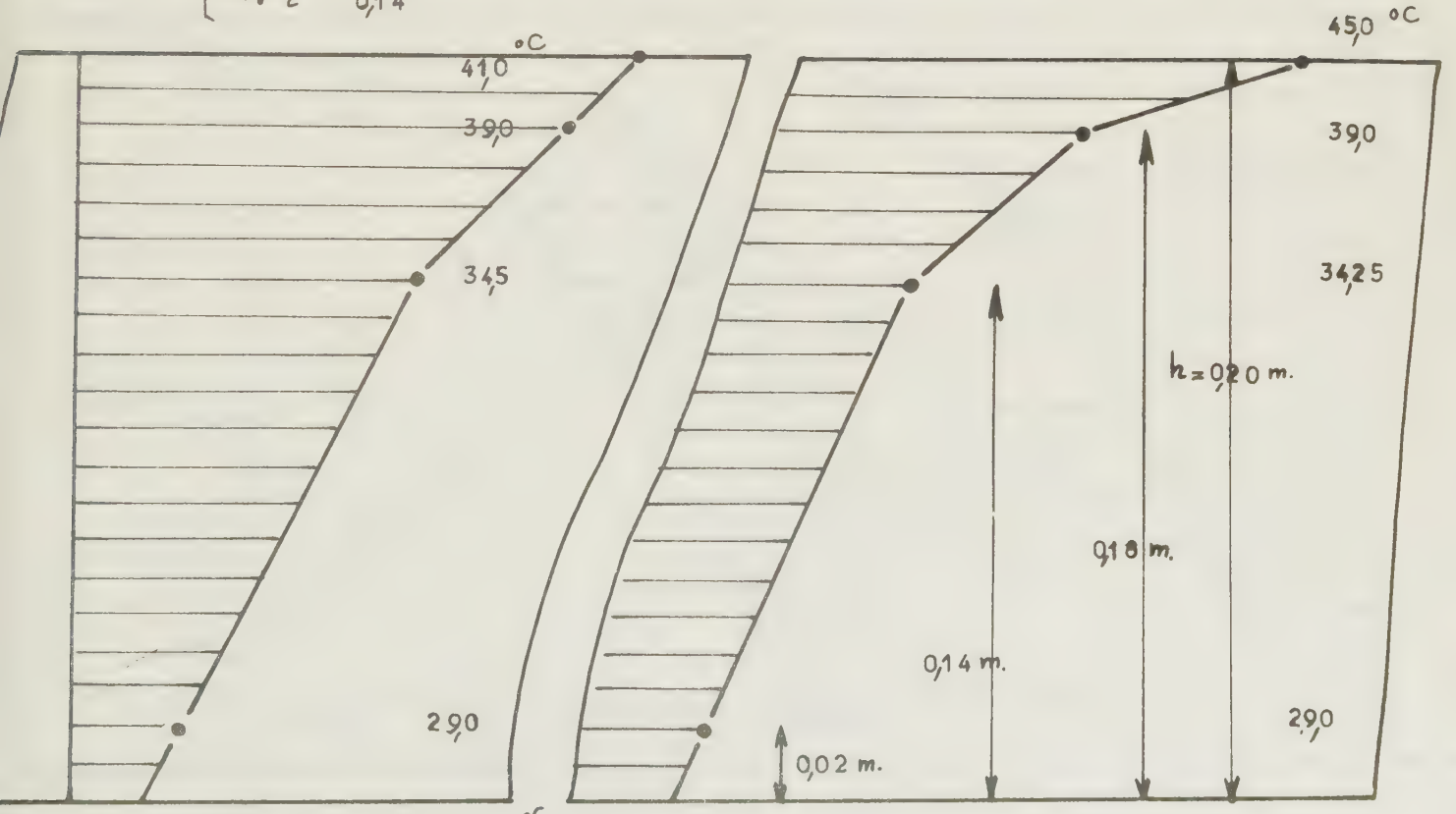
REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA (D-4).

FIGURE 84 -



(12) $\begin{cases} \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{41-33}{0,06} = 130 \ ^{\circ}C/m. \\ \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{33-23}{0,14} = 50 \end{cases}$

(12')

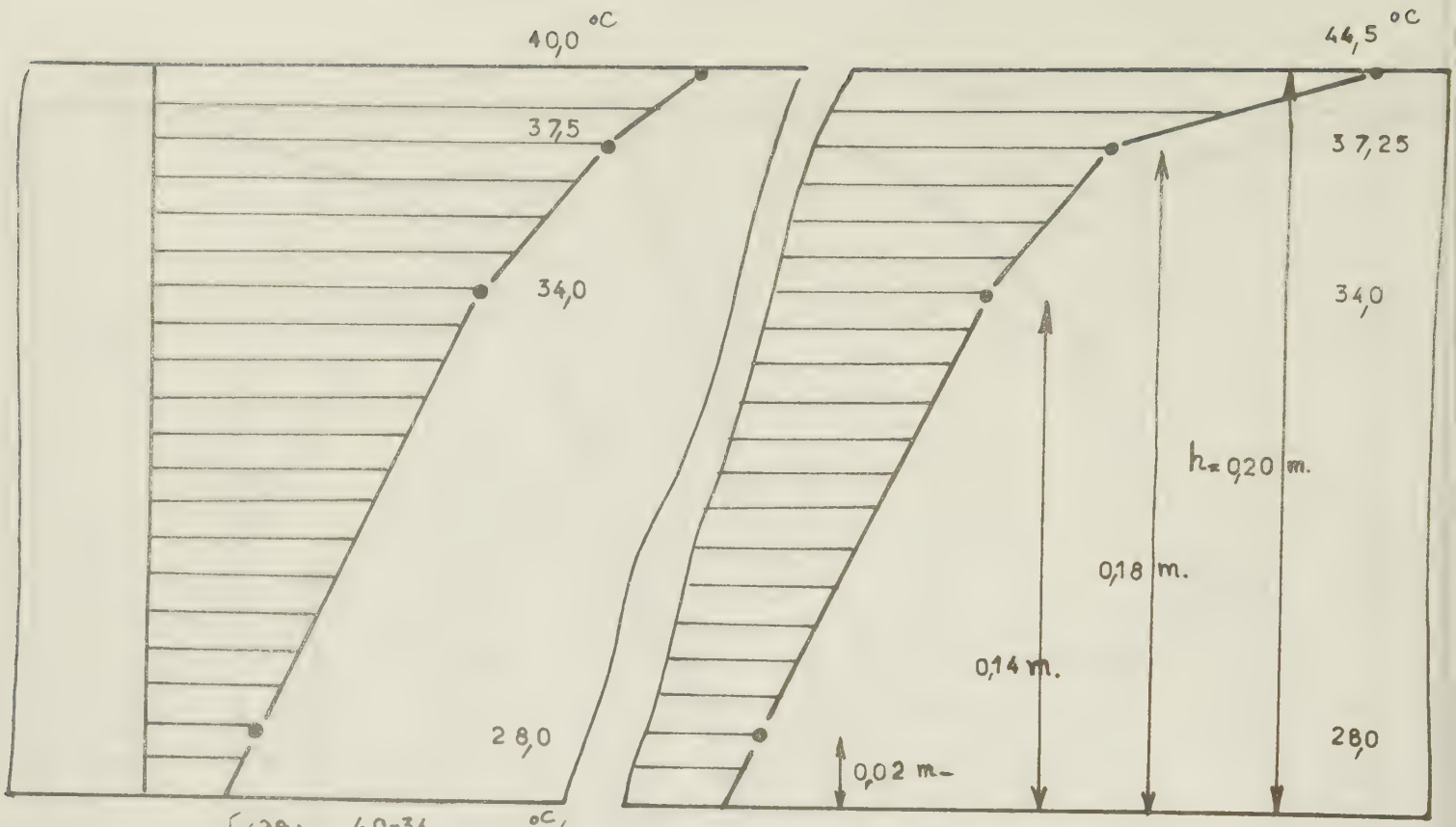


(13) $\begin{cases} \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{41-345}{0,06} = 108 \ ^{\circ}C/m. \\ \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{34,5-28}{0,14} = 46 \end{cases}$

(13')

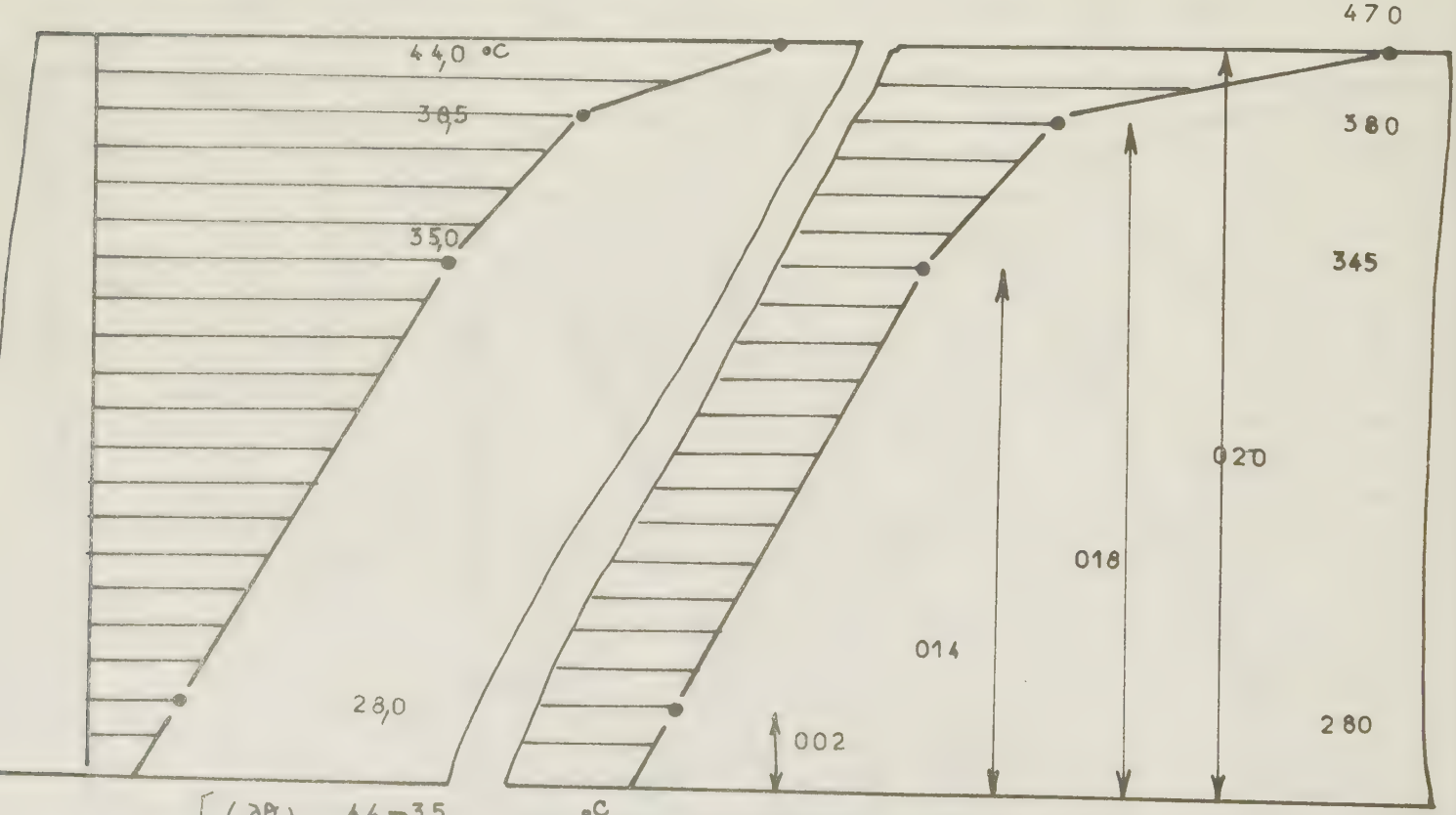
REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA (D - 4).

FIGURE 85 -



(14) $\begin{cases} \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{40-34}{0,06} = 100 \ ^{\circ}C/m. \\ \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{34-27}{0,14} = 50 \end{cases}$

(14')

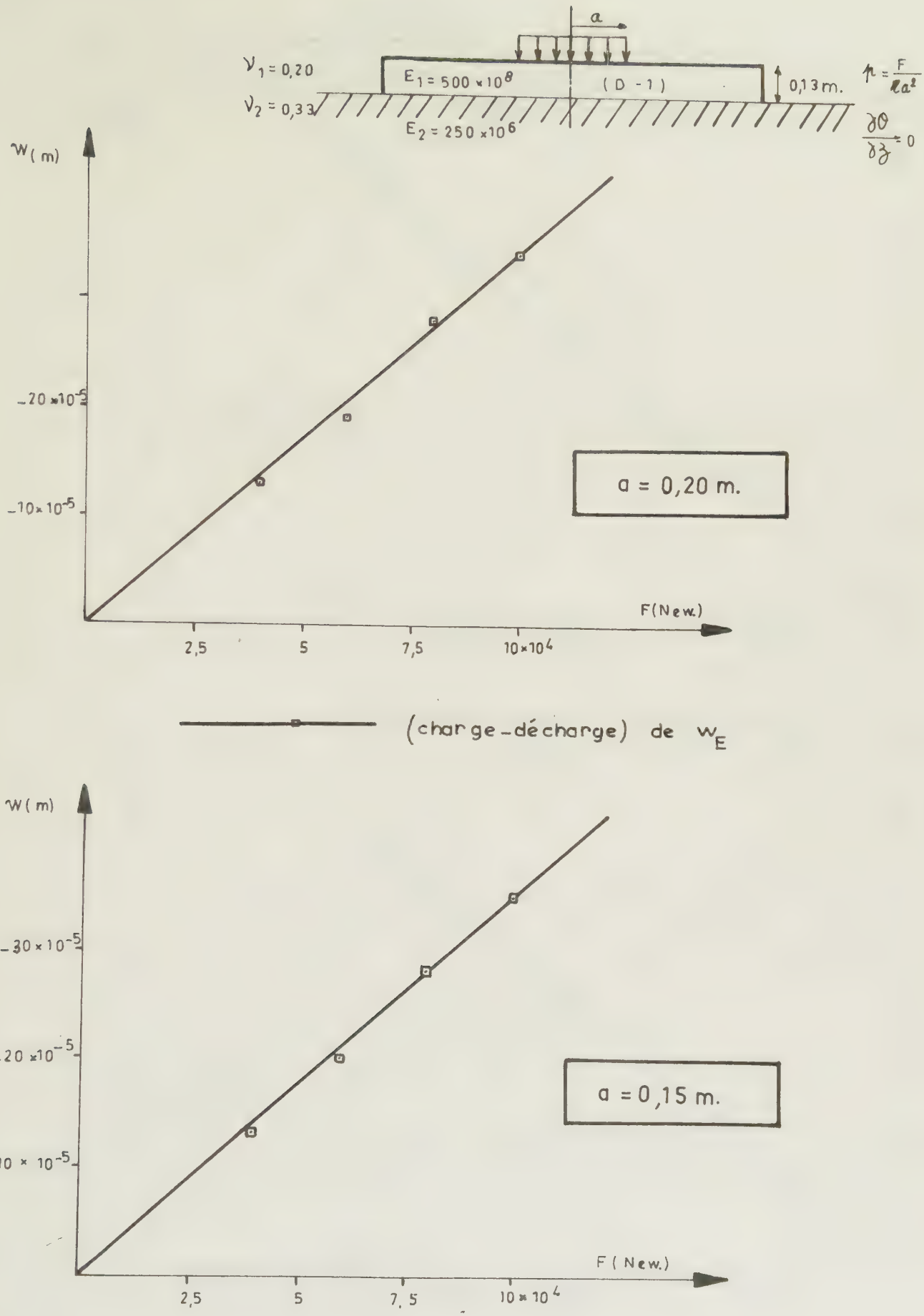


(15) $\begin{cases} \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_1 = \frac{44-35}{0,06} = 150 \ ^{\circ}C/m. \\ \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_2 = \frac{35-27}{0,14} = 57 \end{cases}$

(15')

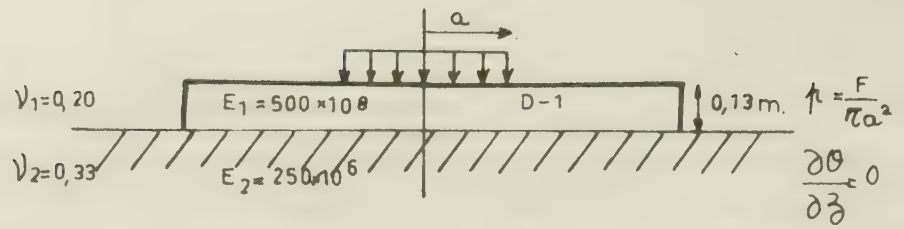
REPARTITIONS VERTICALES DES TEMPERATURES A L'INTERIEUR DE LA (D-4).

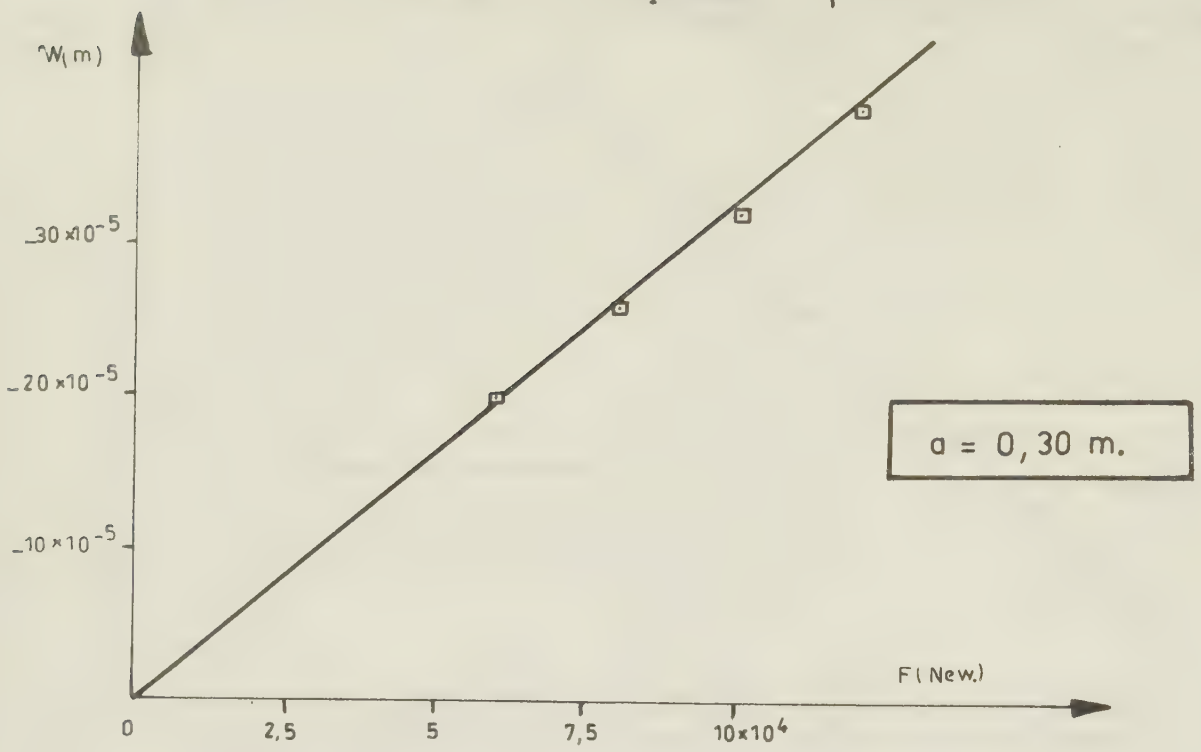
FIGURE 86 -



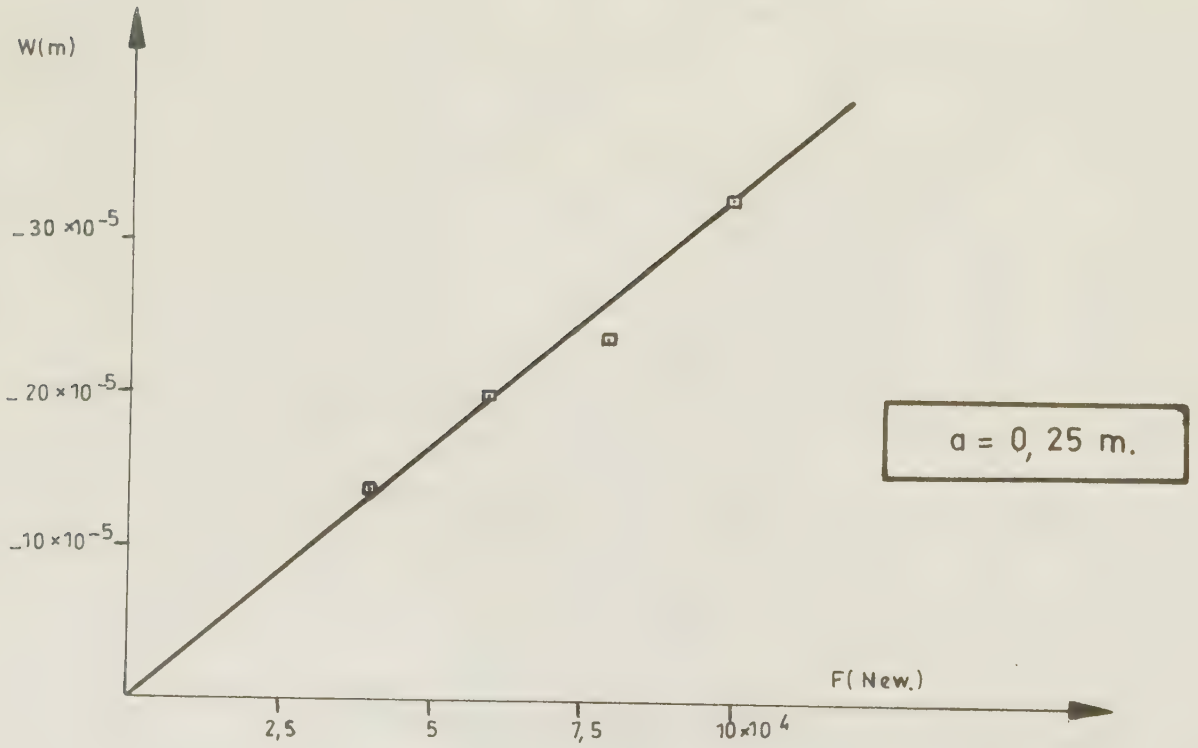
LINEARITE DES W_E AU CENTRE DE LA (D-1) SOUS LES CHARGES STATIQUES.

FIGURE 87 -



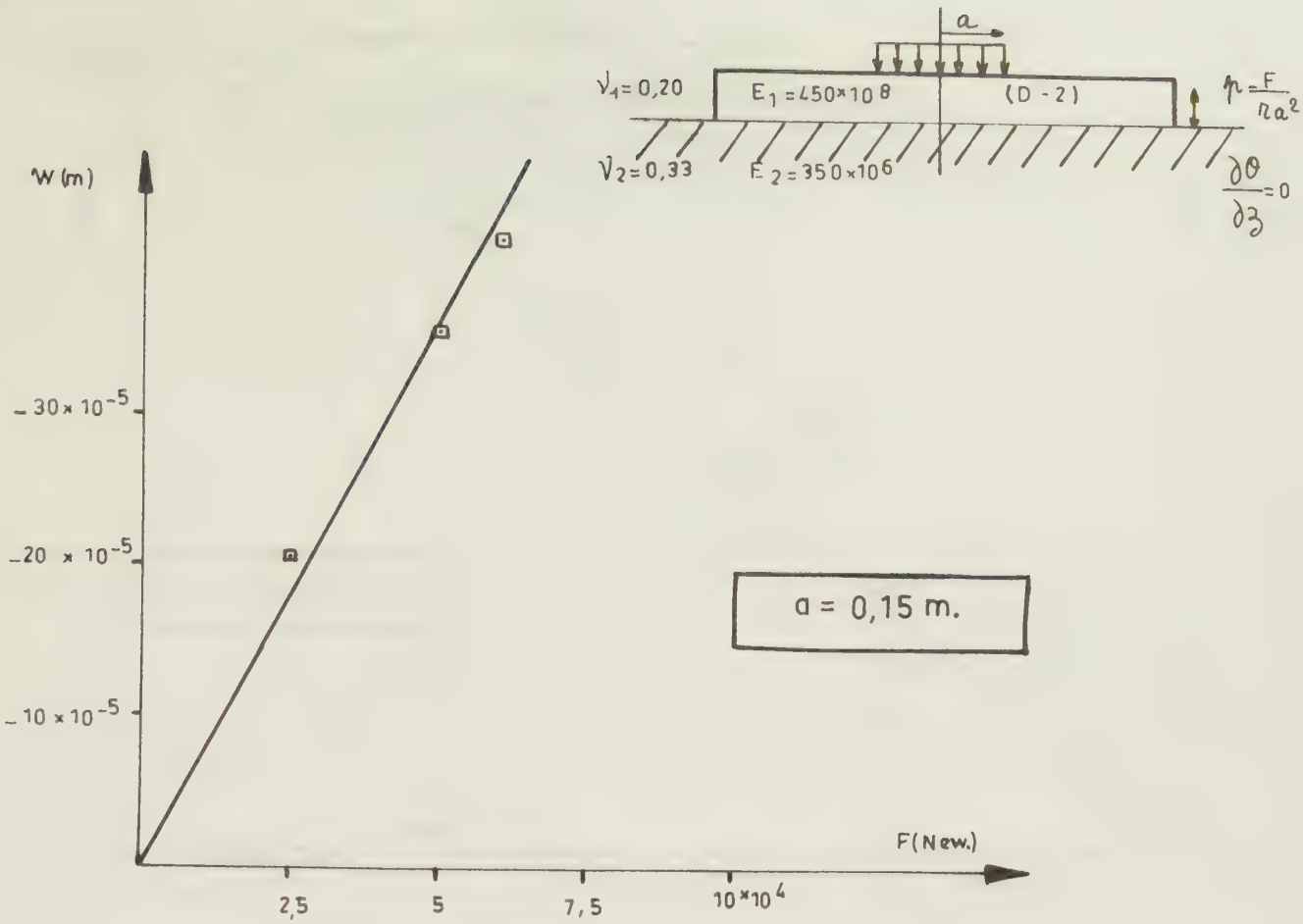


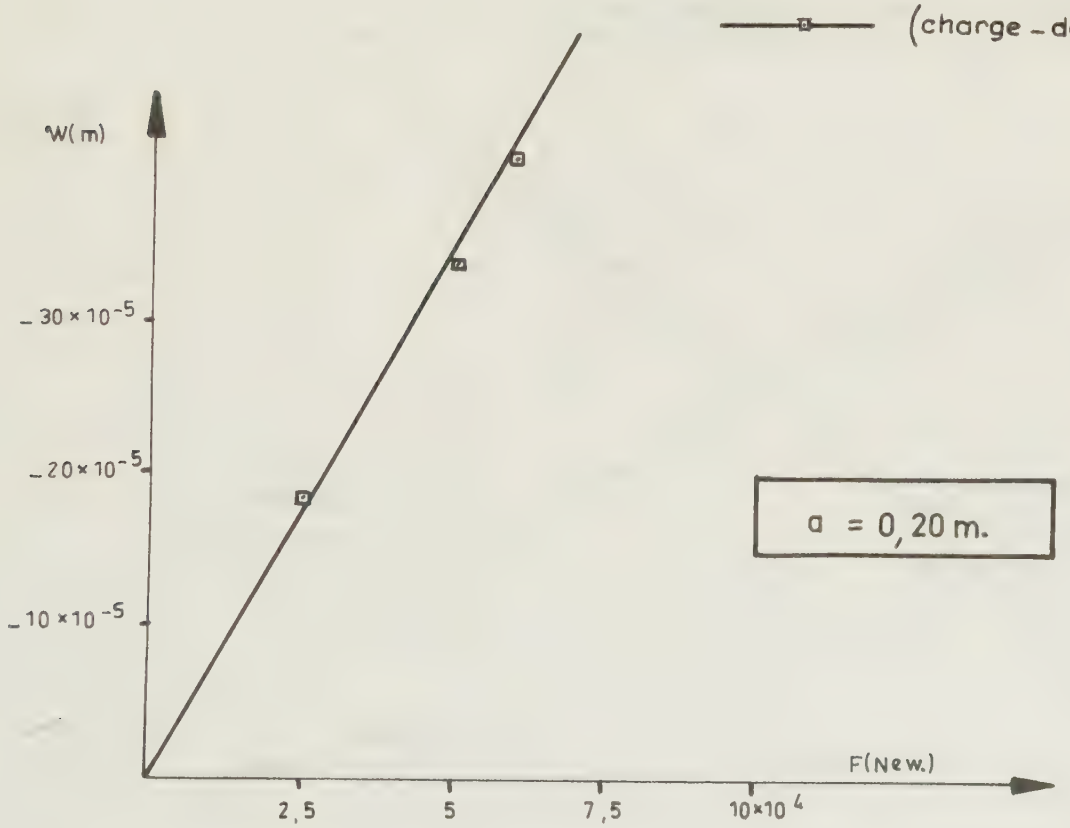
(charge - décharge) de w_E



LINEARITE DES W_E AU CENTRE DE LA (D -1) SOUS LES CHARGES STATIQUES .

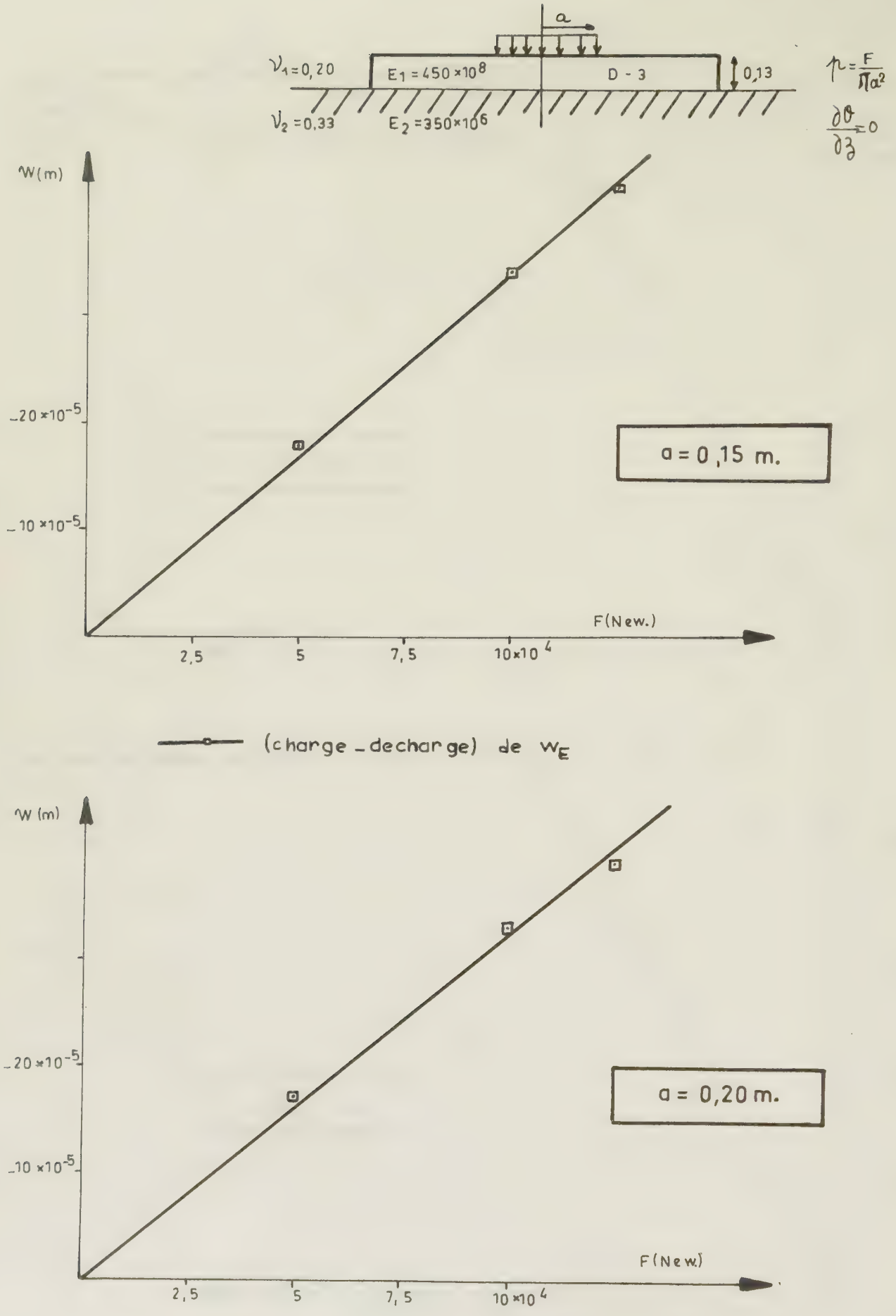
FIGURE 87 - bis





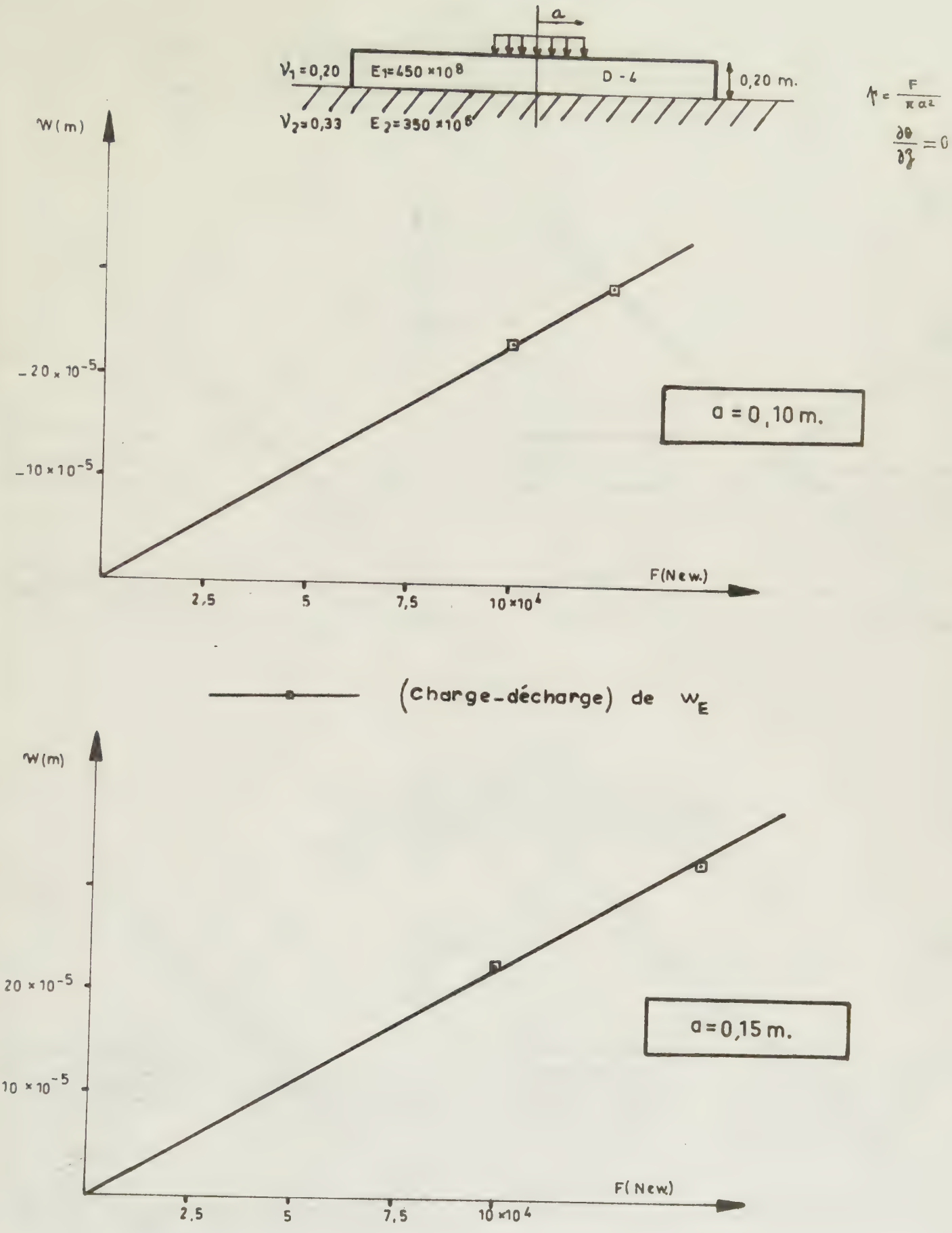
LINEARITE DES W_E AU CENTRE DE LA (D-2) SOUS LES CHARGES STATIQUES.

FIGURE 88 -



LINEARITE DES W_E AU CENTRE DE LA (D - 3) SOUS LES CHARGES STATIQUES

FIGURE 89 -

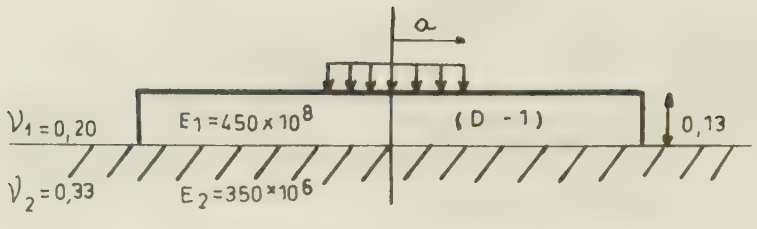


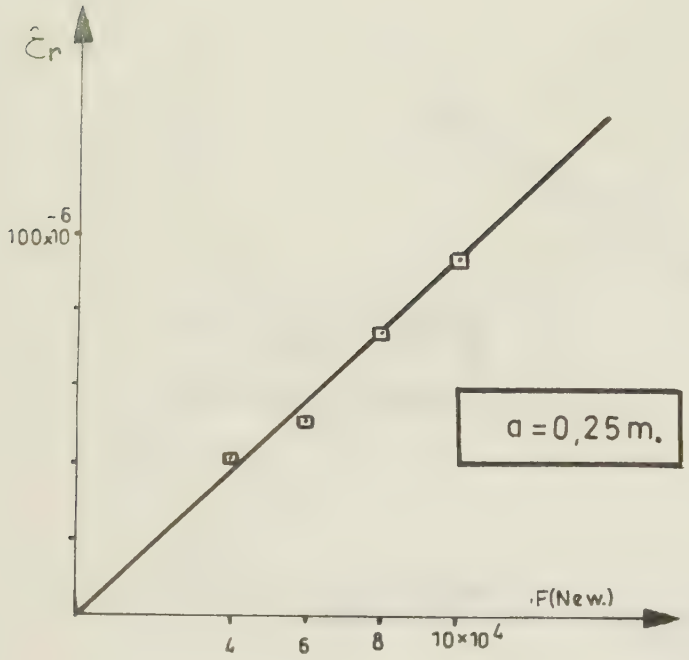
$$\uparrow = \frac{F}{\pi a^2}$$

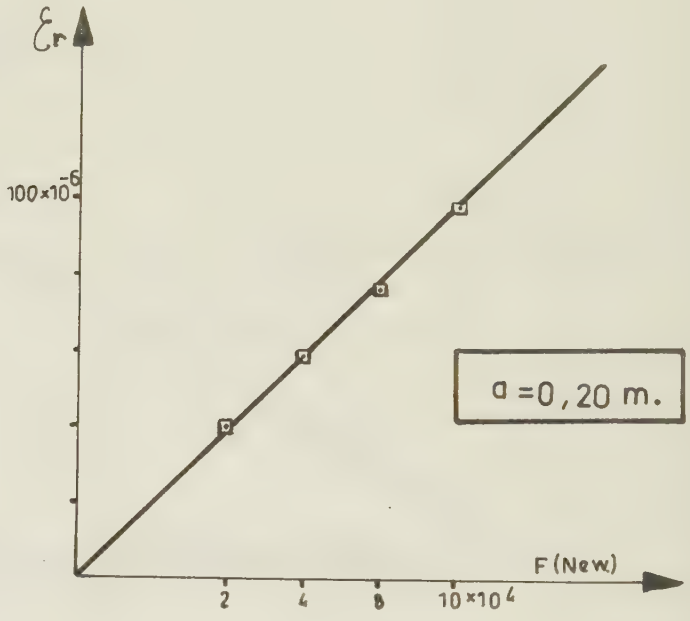
$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$$

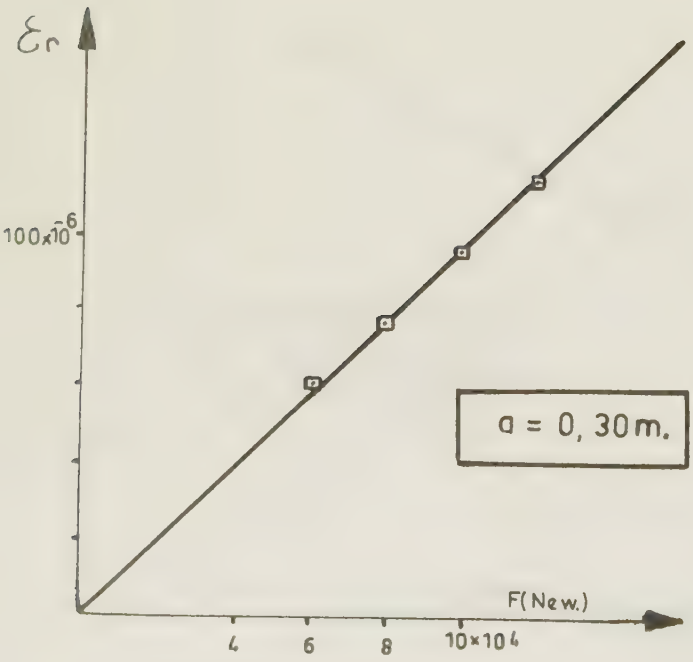
LINEARITE DES W_E AU CENTRE DE LA(D - 4) SOUS LES CHARGES STATIQUES .

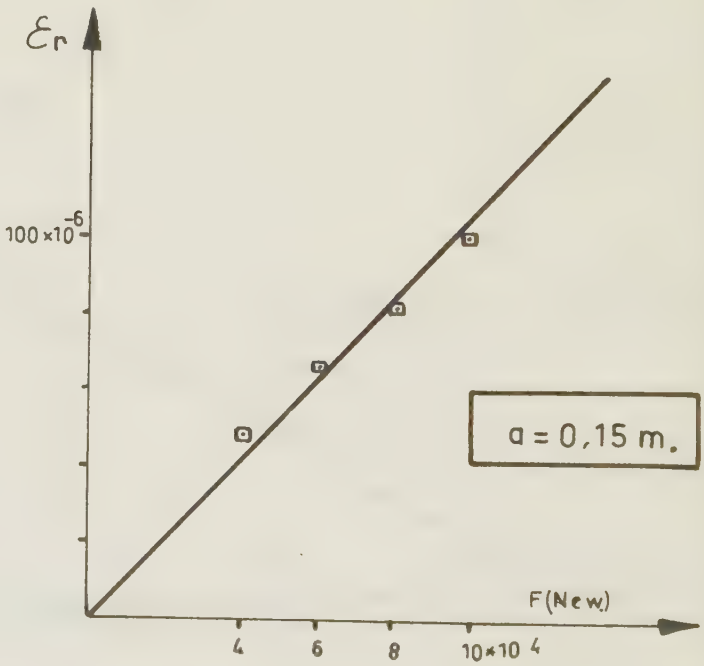
FIGURE 90 -







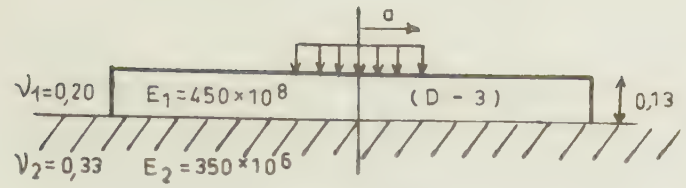




—□— (charge- décharge) des $(\varepsilon_r)_E$

LINEARITES DES $(\varepsilon_r)_E$ AU CENTRE DE LA(D-1) SOUS LES CHAMPS STATIQUES .

FIGURE 91 -



$p = \frac{F}{\pi a^2}$

$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$

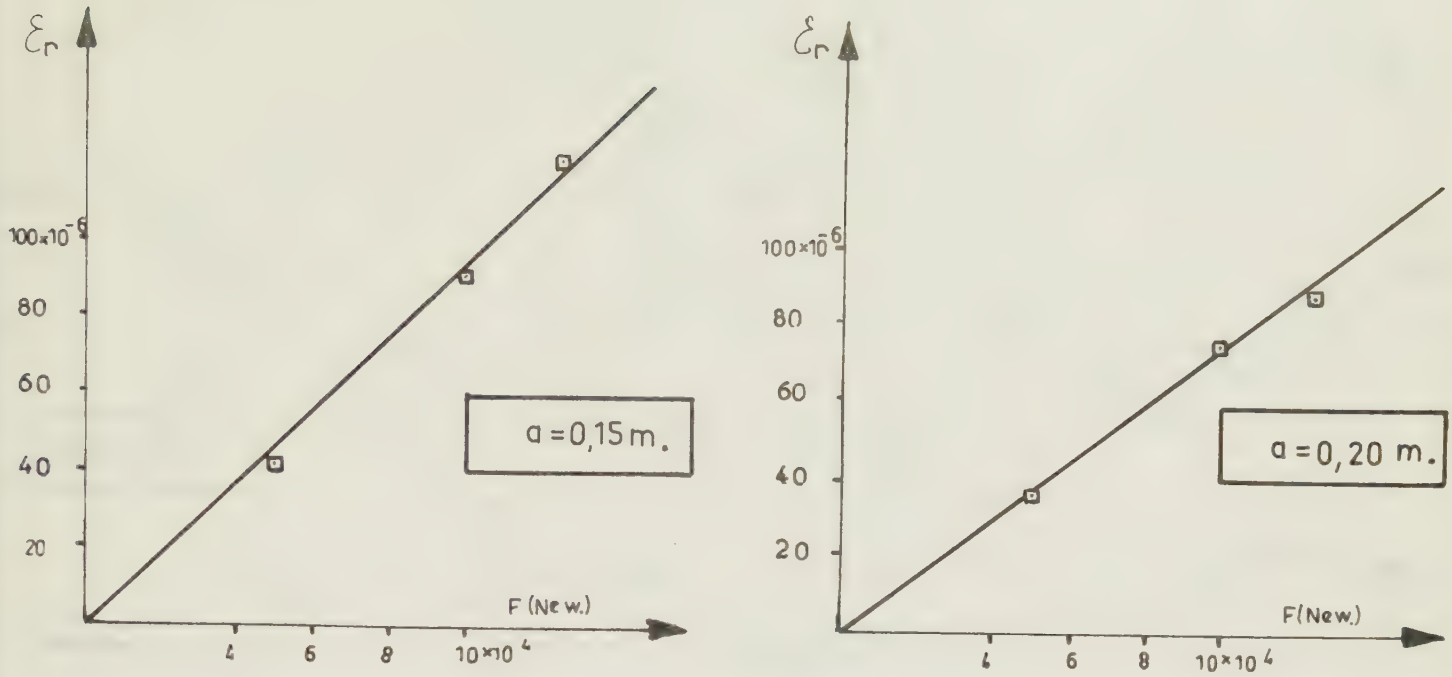
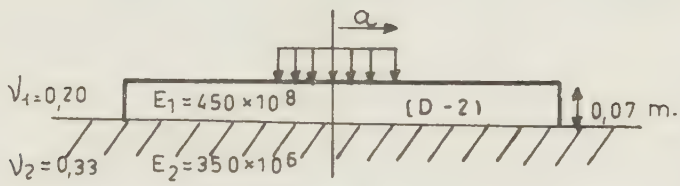
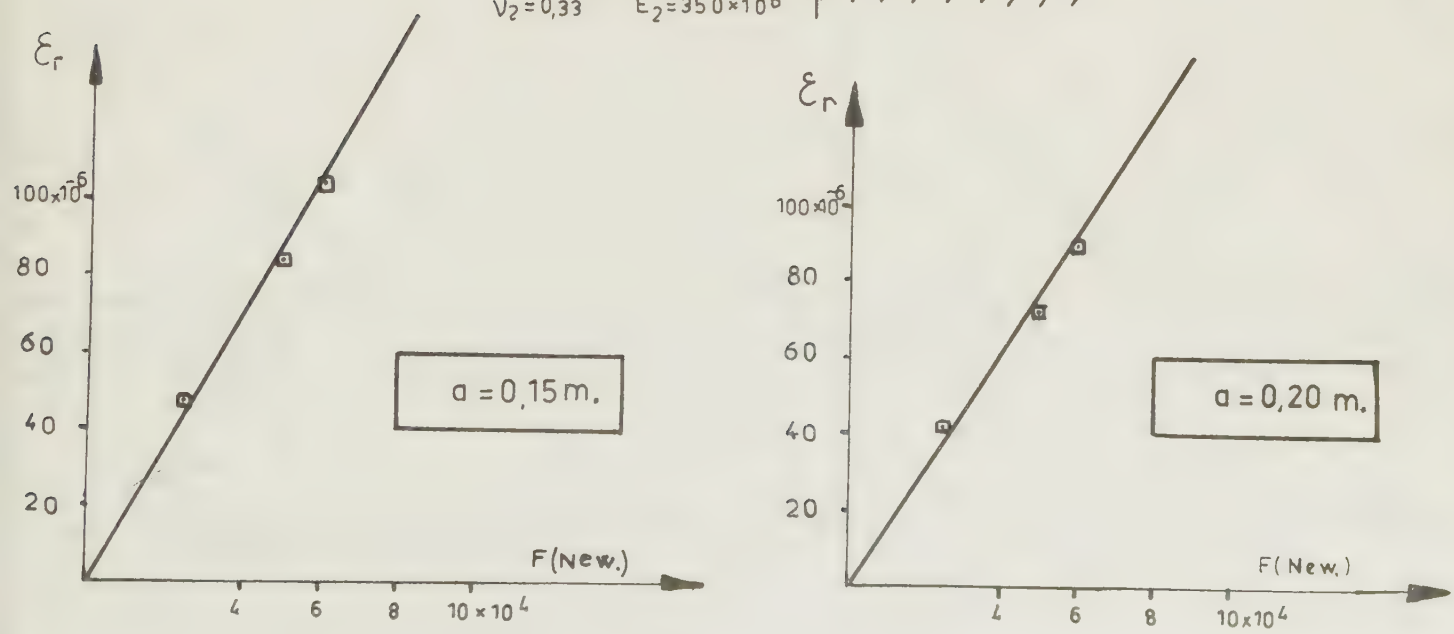


FIGURE 93 -

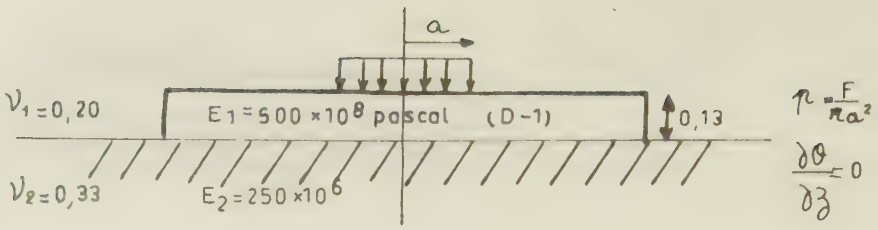


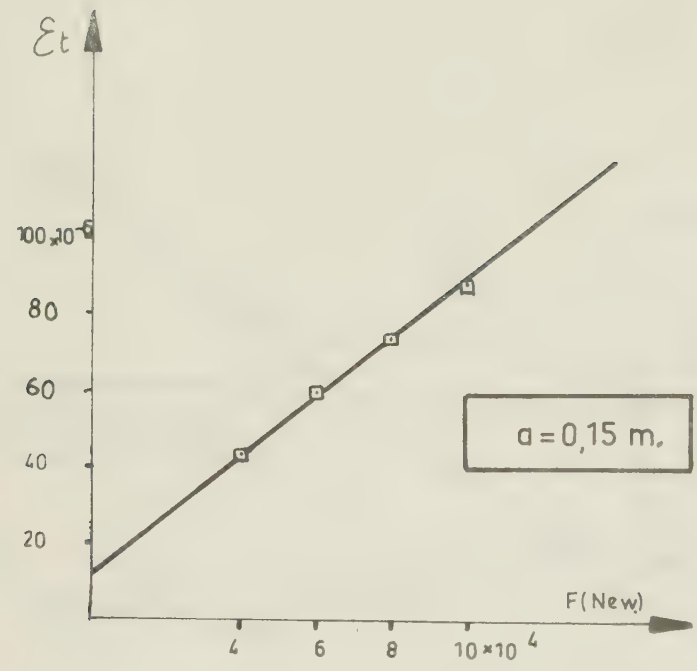


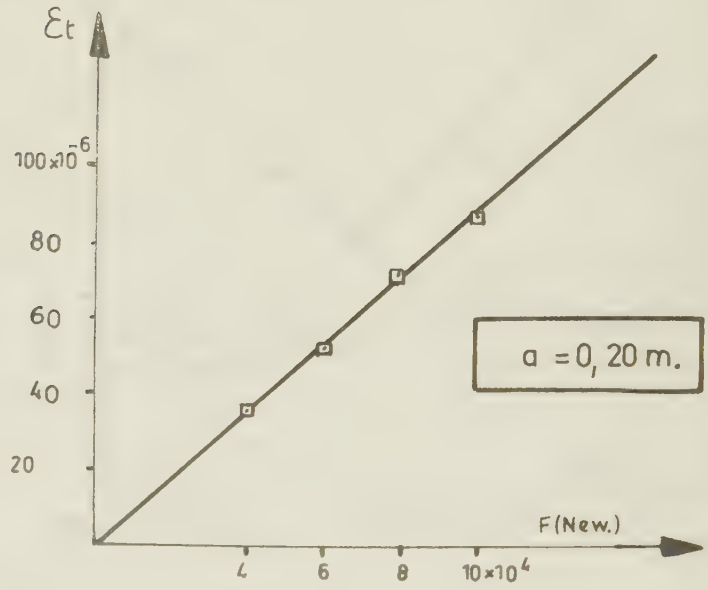
—□— (charge - décharge) des $(\varepsilon_r)_E$

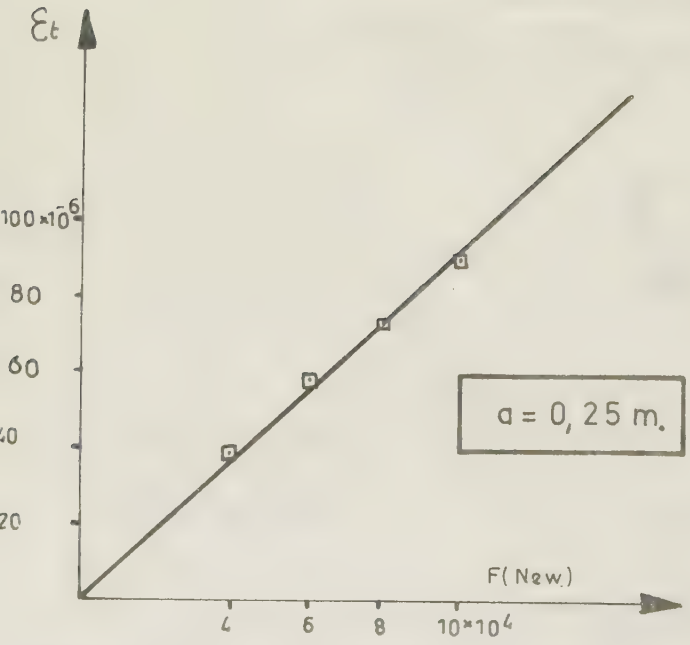
LES LINEARITE DES (ε_r) AU CENTRE DES (D-2) (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES _

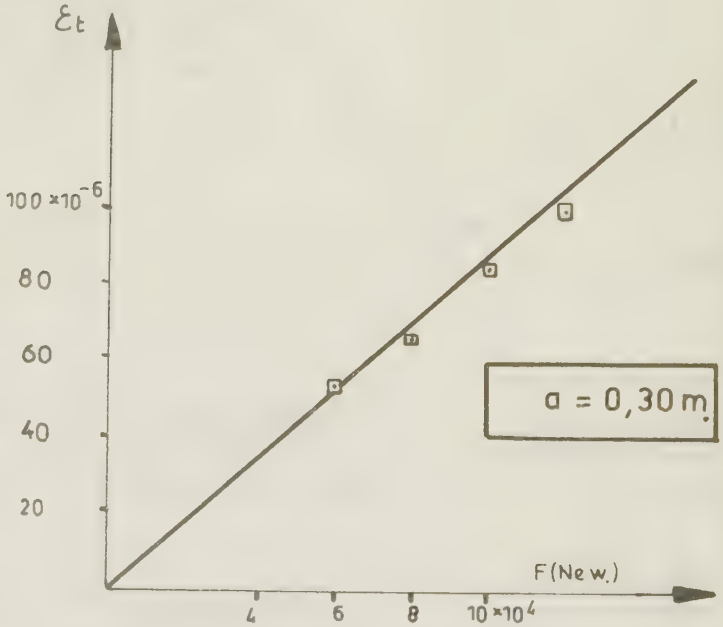
FIGURE 92











(charge- décharge) des $(\varepsilon_t)_E$

LINEARITE DES $(\varepsilon_t)_E$ AU CENTRE DE LA (D-1) SOUS LES CHARGES STATIQUES

FIGURE 94 -

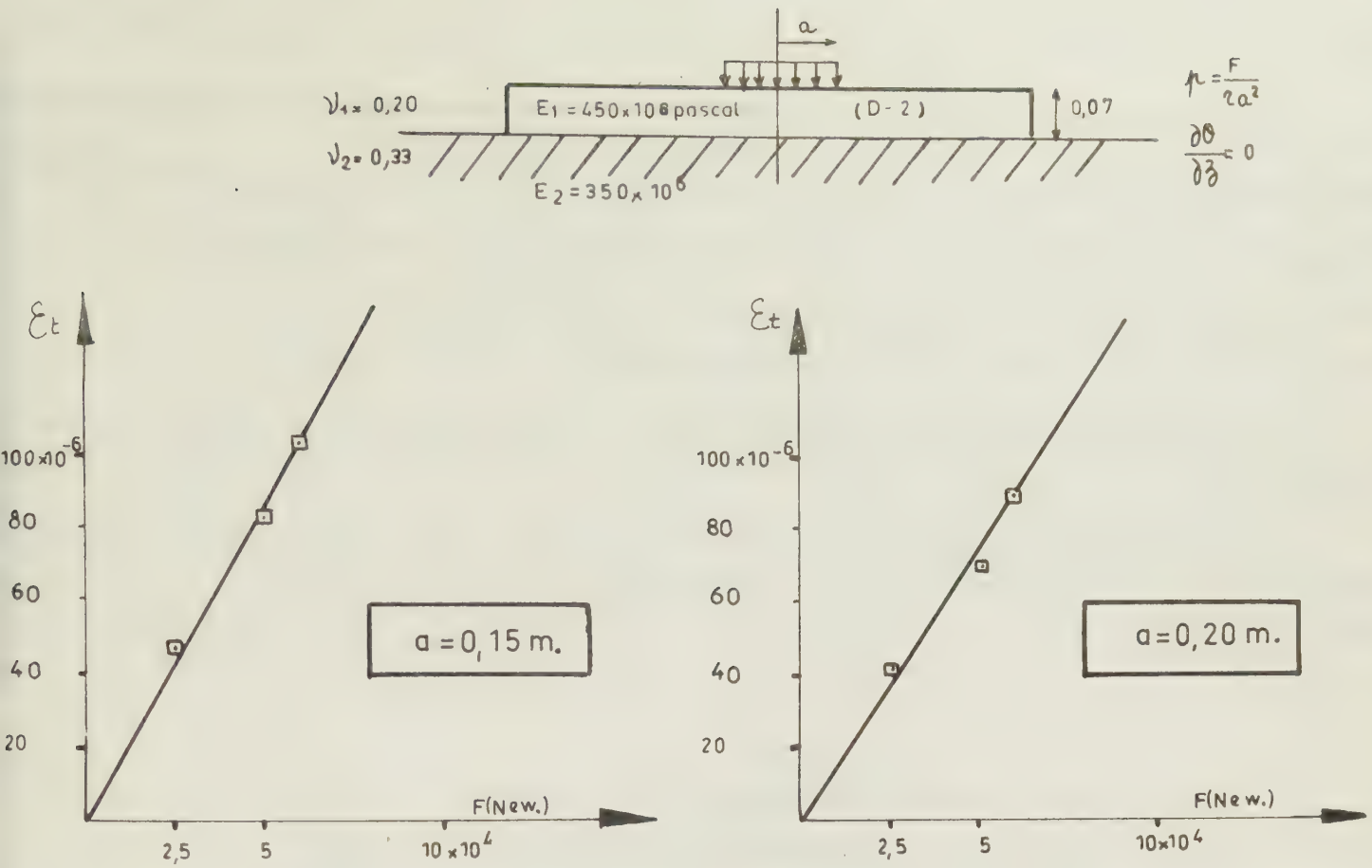
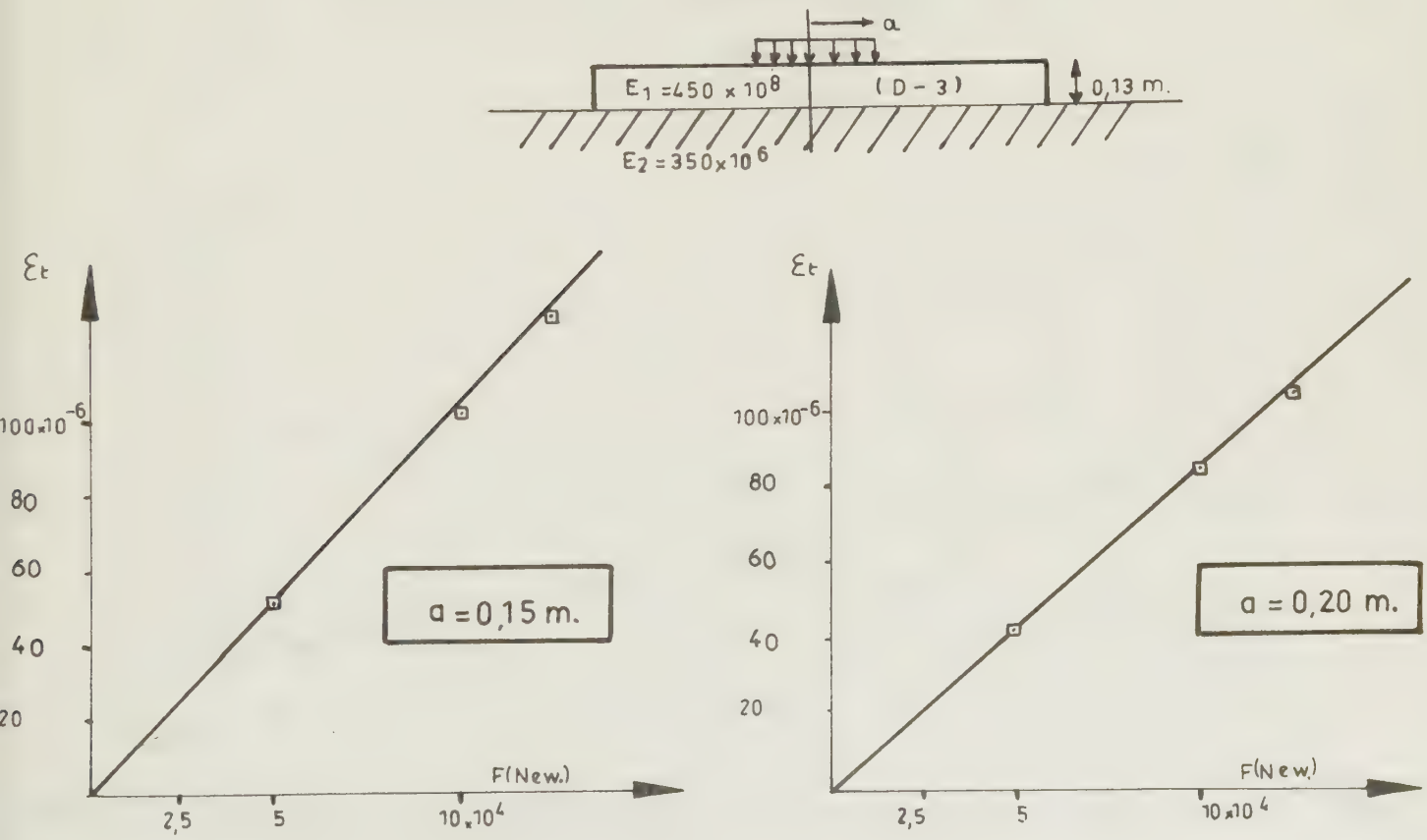


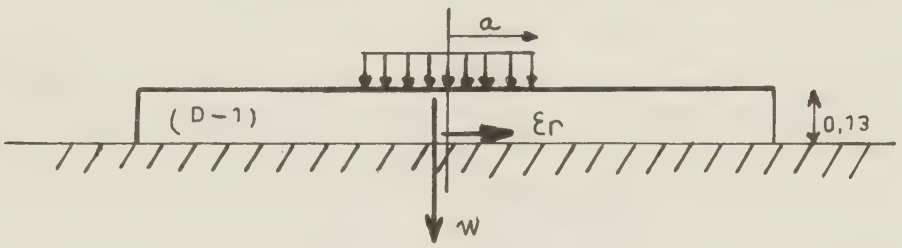
FIGURE 95 -



LINEARITE DES $(\varepsilon t)_E$ AU CENTRE DES (D-2), (D-3) SOUS LES CHARGES STATIQUES

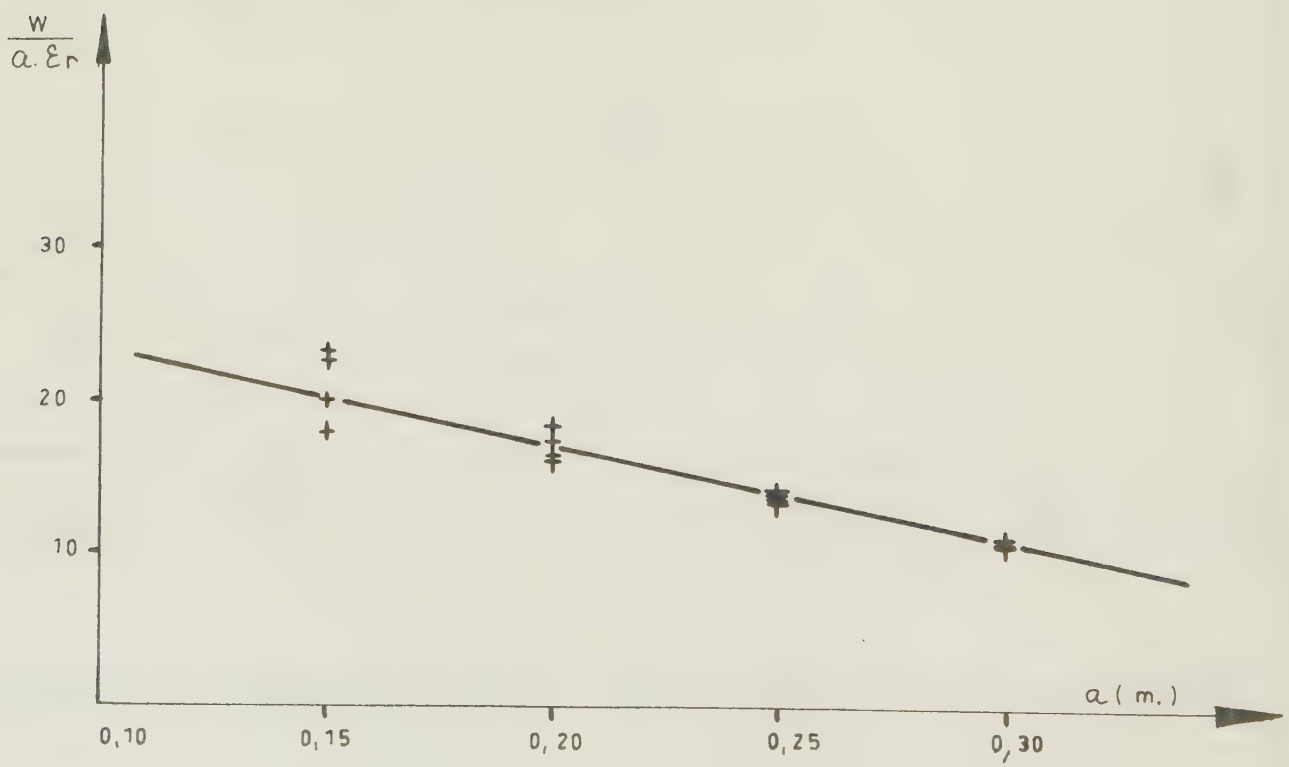
FIGURE 96 -

	$W/a.\varepsilon_r$ au centre de (D-1)			
a(m) / F(new)	a = 0,15	a = 0,20	a = 0,25	a = 0,30
$F=4\times10^5$	$\frac{13\times10^{-5}}{0,15(48\times10^{-6})}=18,10$	$\frac{13\times10^{-5}}{0,20(40\times10^{-6})}=16,25$	$\frac{14\times10^{-5}}{0,25(41\times10^{-6})}=13,65$	———
$F=6\times10^5$	$\frac{20\times10^{-5}}{0,15(66\times10^{-6})}=20,20$	$\frac{19\times10^{-5}}{0,20(58\times10^{-6})}=16,37$	$\frac{20\times10^{-5}}{0,25(58\times10^{-6})}=13,73$	$\frac{20\times10^{-5}}{0,30(61\times10^{-6})}=10,92$
$F=8\times10^{-6}$	$\frac{28\times10^{-5}}{0,15(82\times10^{-6})}=22,76$	$\frac{28\times10^{-5}}{0,20(76\times10^{-6})}=18,42$	$\frac{26\times10^{-5}}{0,25(75\ 10^{-6})}=13,82$	$\frac{26\times10^{-5}}{0,30(77\times10^{-6})}=11,25$
$F=10\times10^{-5}$	$\frac{35\times10^{-5}}{0,15(100\times10^{-6})}=23,30$	$\frac{34\times10^{-5}}{0,20(97\times10^{-6})}=17,52$	$\frac{33\times10^{-5}}{0,25(94\ 10^{-6})}=14,04$	$\frac{32\times10^{-5}}{0,30(96\times10^{-6})}=11,11$



$$p=\frac{F}{\pi a^2}$$

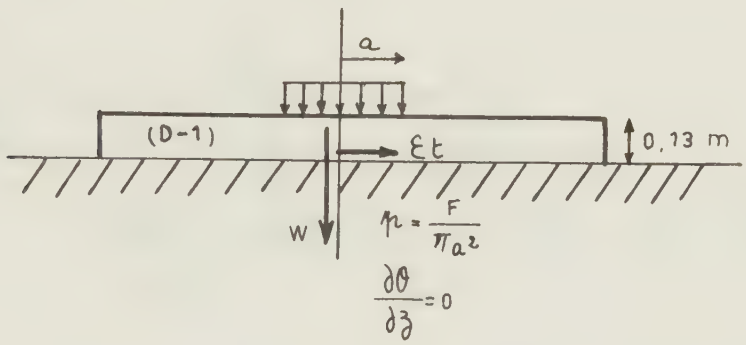
$$\frac{\partial\theta}{\partial z}=0$$

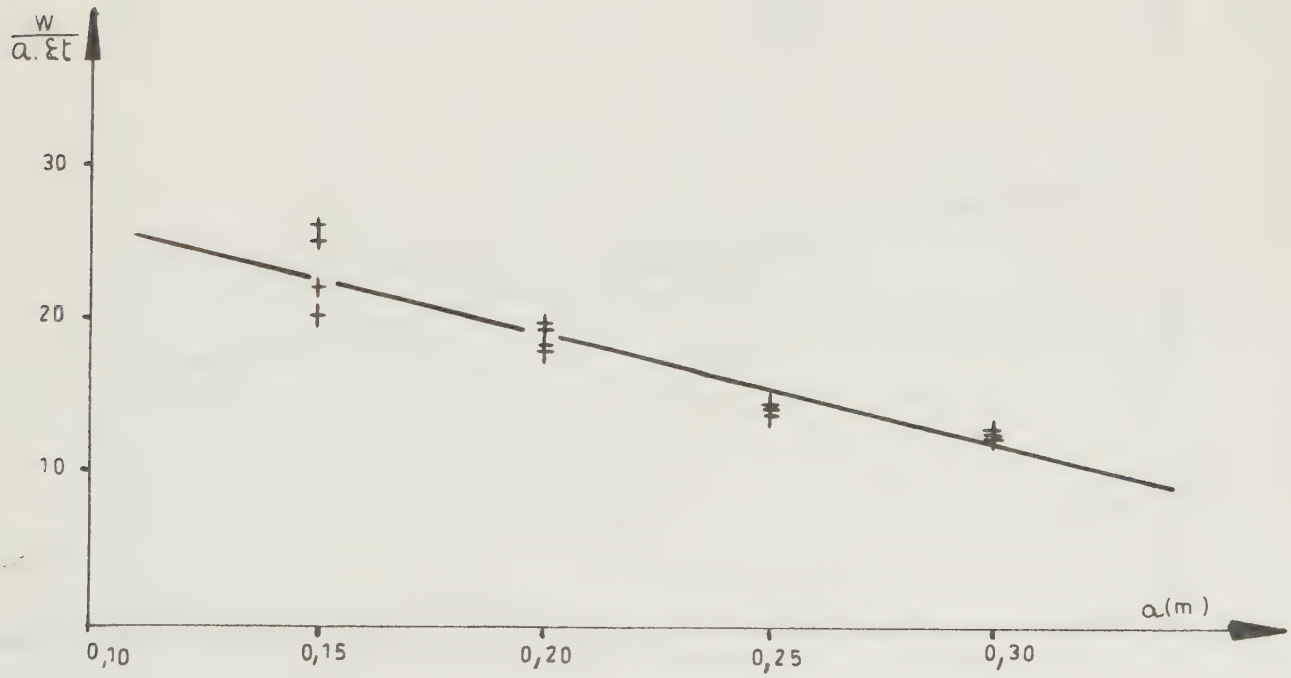


VARIATIONS $\left(\frac{W}{a.\varepsilon_r}, a\right)$ AU CENTRE DE LA DALLE (D-1)

FIGURE 97 -

$\frac{W}{a.\varepsilon.t}$ au centre de (D-1)				
a (m) / F(New)	a = 0,15 m	a = 0,20 m	a = 0,25 m	a = 0,30 m
$F = 4 \times 10^4$	$\frac{13 \times 10^{-5}}{0,15\,(43 \times 10^{-6})} = 20,15$	$\frac{13 \times 10^{-5}}{0,20\,(36 \times 10^{-6})} = 18,05$	$\frac{14 \times 10^{-5}}{0,25\,(39 \times 10^{-6})} = 14,35$	———
$F = 6 \times 10^4$	$\frac{20 \times 10^{-5}}{0,15\,(60 \times 10^{-6})} = 22,22$	$\frac{19 \times 10^{-5}}{0,20\,(52 \times 10^{-6})} = 18,26$	$\frac{20 \times 10^{-5}}{0,25\,(58\ 10^{-6})} = 13,79$	$\frac{20 \times 10^{-5}}{0,30 \times (54 \times 10^{-6})} = 12,3$
$F = 8 \times 10^4$	$\frac{28 \times 10^{-5}}{0,15\,(74 \times 10^{-6})} = 25,22$	$\frac{28 \times 10^{-5}}{0,20\,(71 \times 10^{-6})} = 19,71$	$\frac{26 \times 10^{-5}}{0,25\,(73 \times 10^{-6})} = 14,24$	$\frac{26 \times 10^{-5}}{0,30 \times (67 \times 10^{-6})} = 12,93$
$F = 10 \times 10^4$	$\frac{35 \times 10^{-5}}{0,15 \times (88 \times 10^{-6})} = 26,51$	$\frac{34 \times 10^{-5}}{0,20\,(86 \times 10^{-6})} = 19,76$	$\frac{33 \times 10^{-5}}{0,25\,(90 \times 10^{-6})} = 14,66$	$\frac{32 \times 10^{-5}}{0,30 \times (85 \times 10^{-6})} = 12,5$

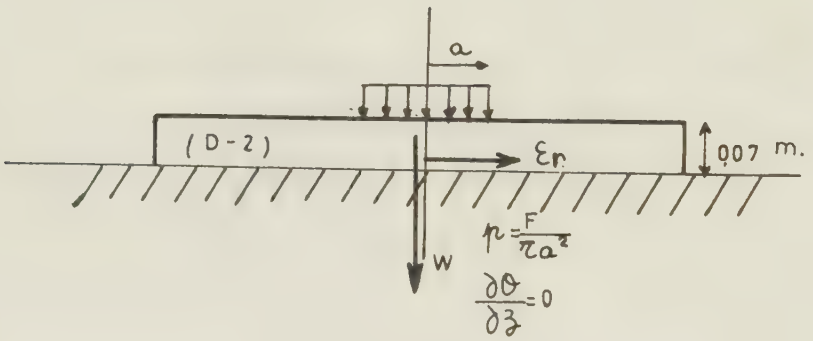


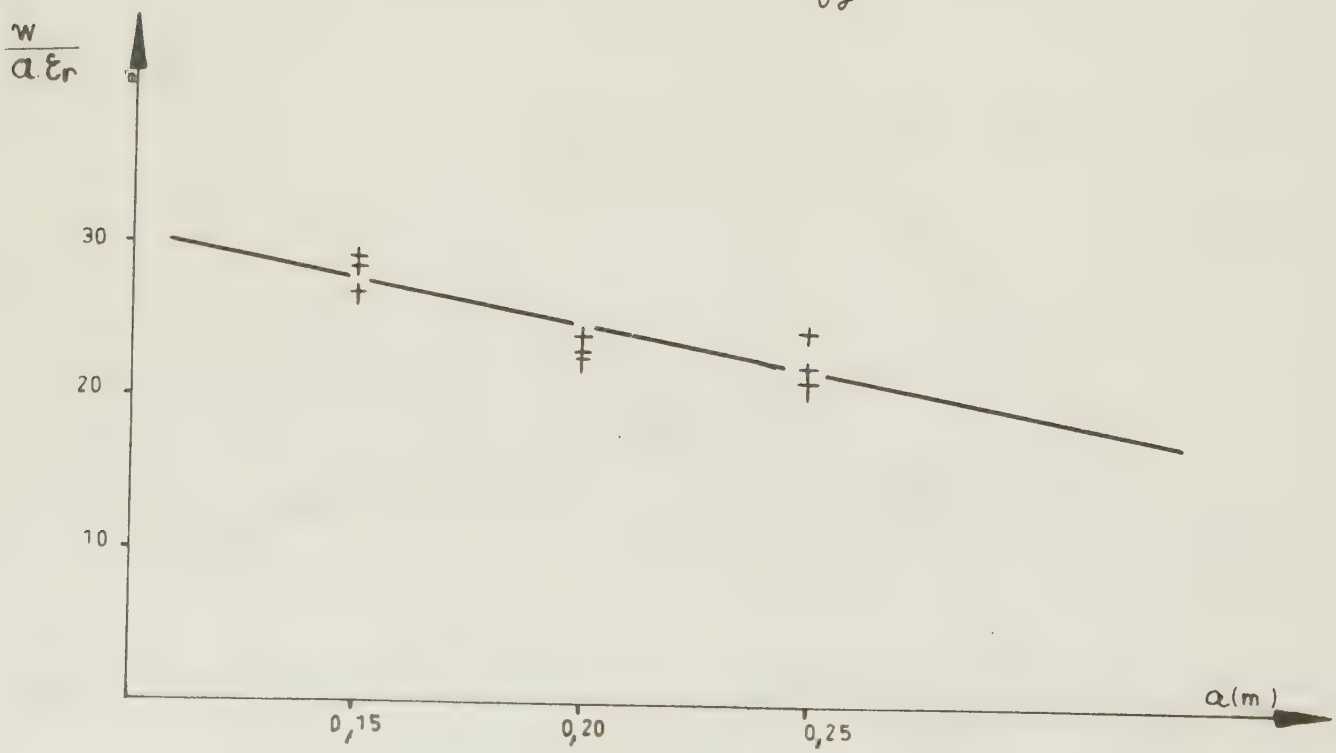


VARIATIONS $\left(\frac{W}{a.\varepsilon t}, a\right)$ AU CENTRE DE LA DALLE (D-1)

FIGURE 98 -

$W/a.\varepsilon_r$ au centre de la (D-2)			
F(New) \ a(m)	a = 0,15	a = 0,20	a = 0,25
$F = 2,5 \times 10^4$	$\frac{21 \times 10^{-5}}{0,15\,(48 \times 10^{-6})} = 29,16$	$\frac{19 \times 10^{-5}}{0,20\,(42 \times 10^{-6})} = 22,61$	$\frac{19 \times 10^{-5}}{0,25\,(31 \times 10^{-6})} = 24,51$
$F = 5 \times 10^4$	$\frac{36 \times 10^{-5}}{0,15 \times (84 \times 10^{-6})} = 28,57$	$\frac{34 \times 10^{-5}}{0,20\,(70 \times 10^{-6})} = 24,28$	$\frac{32 \times 10^{-5}}{0,25\,(60 \times 10^{-6})} = 21,33$
$F = 6 \times 10^4$	$\frac{42 \times 10^{-5}}{0,15 (104 \times 10^{-6})} = 26,92$	$\frac{41 \times 10^{-5}}{0,20 \times (90 \times 10^{-6})} = 22,77$	$\frac{40 \times 10^{-5}}{0,25 \times (72 \times 10^{-6})} = 22,22$

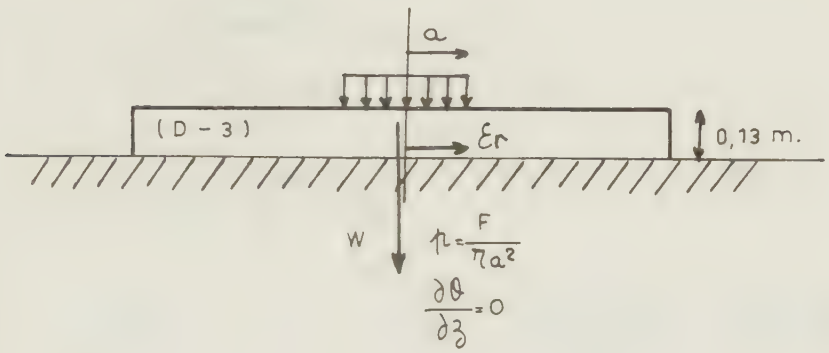


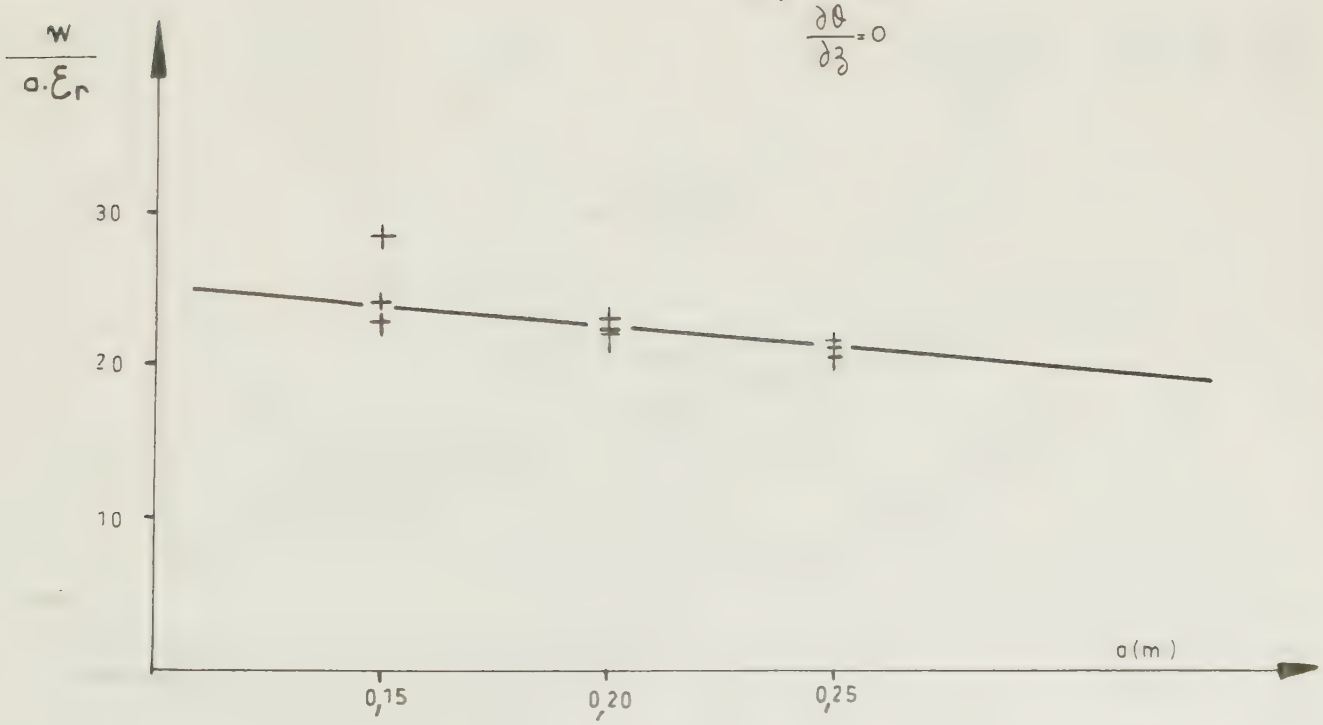


VARIATIONS $\left(\frac{w}{a.\varepsilon_r}, a\right)$ AU CENTRE DE LA DALLE (D-2)

FIGURE 99 -

$W/a.\varepsilon_r$ au centre de la (D-3)			
a (m) / F New	a = 0,15 m.	a = 0,20 m.	a = 0,25 m.
$F = 5 \times 10^4$	$\frac{18 \times 10^{-5}}{0,15\ (42 \times 10^{-5})} = 28,57$	$\frac{17 \times 10^{-5}}{0,20 \times (36\ 10^{-6})} = 23,61$	$\frac{17 \times 10^{-5}}{0,25\ (31 \times 10^{-6})} = 21,93$
$F = 10 \times 10^4$	$\frac{34 \times 10^{-5}}{0,15\ (94 \times 10^{-5})} = 24,11$	$\frac{33 \times 10^{-5}}{0,20\ (75\ 10^{-6})} = 22,00$	$\frac{31 \times 10^{-5}}{0,25\ (60 \times 10^{-6})} = 20,66$
$F = 12,5 \times 10^4$	$\frac{42 \times 10^{-5}}{0,15\ (122 \times 10^{-5})} = 22,95$	$\frac{39 \times 10^{-5}}{0,20\ (88 \times 10^{-6})} = 22,15$	$\frac{38 \times 10^{-5}}{0,25\ (71 \times 10^{-6})} = 21,40$

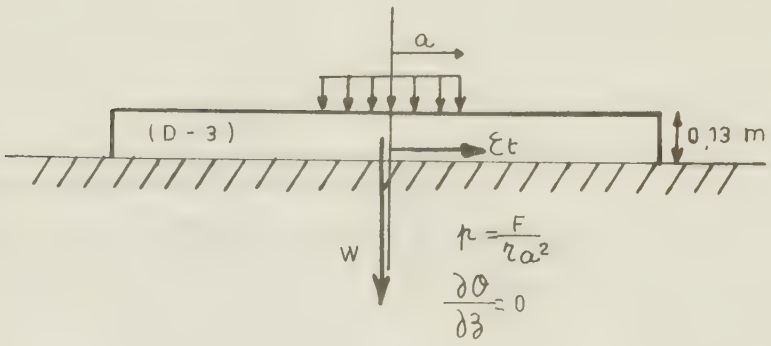


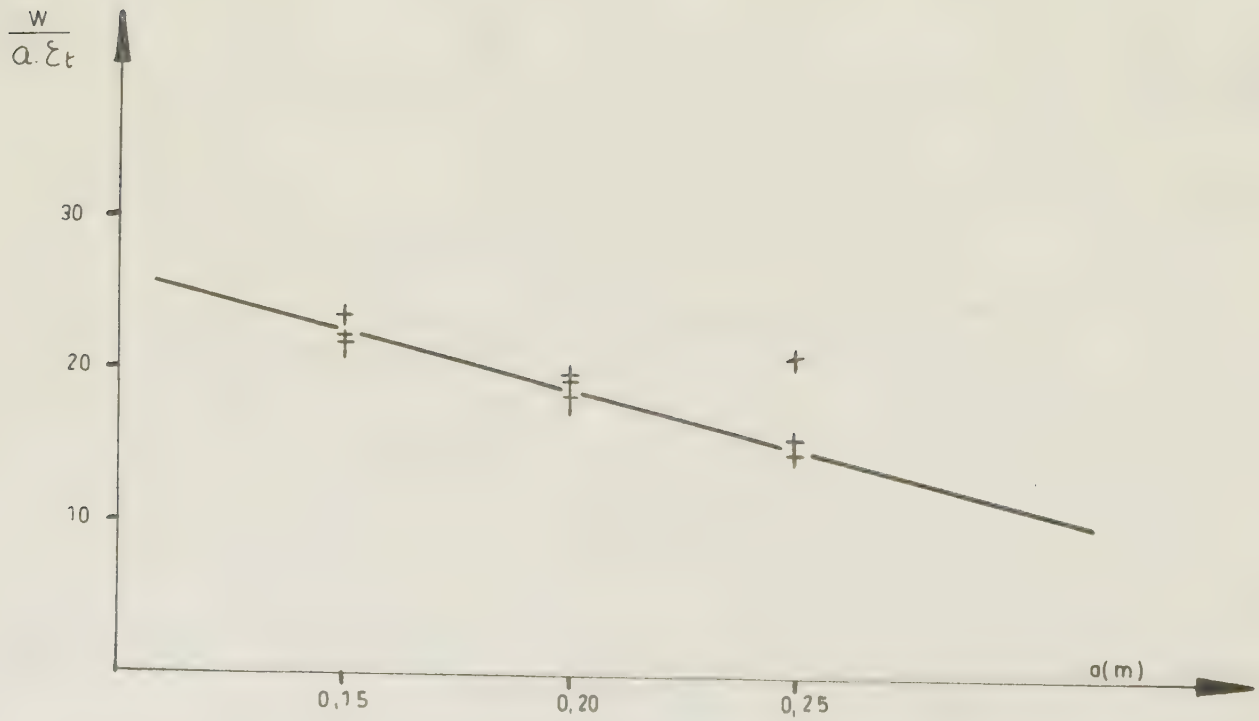


VARIATIONS $\left(\frac{w}{a.\varepsilon_r}, a\right)$ AU CENTRE DE LA DALLE (D-3)

FIGURE 100 -

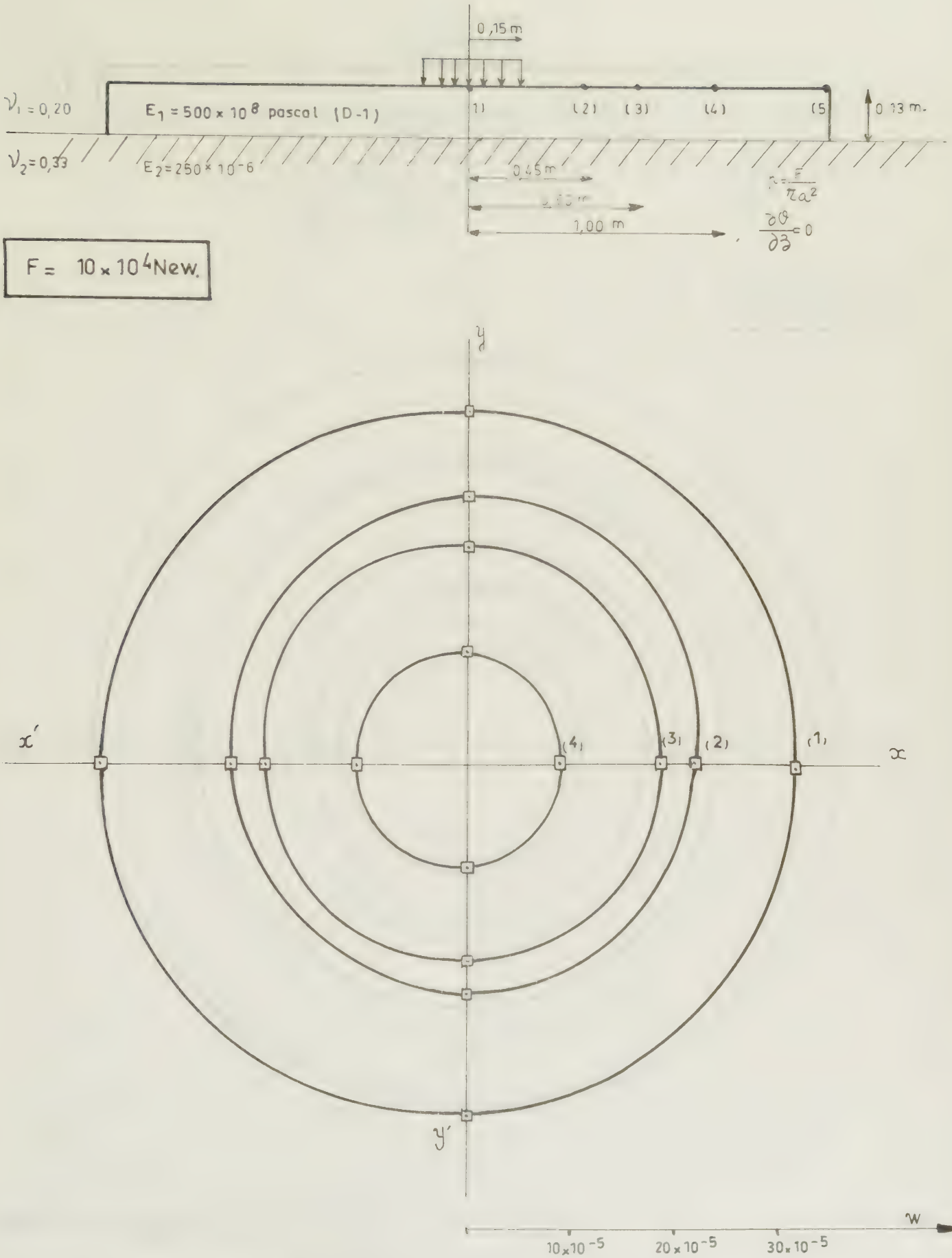
$W/a.\varepsilon_t$ au centre de la (D - 3)			
F (New) \ a (m)	a = 0,15 m.	a = 0,20 m.	a = 0,25 m.
$F = 5\times10^4$	$\frac{18\times10^{-5}}{0,15(51\times10^{-6})}=23,52$	$\frac{17\times10^{-5}}{0,20(43\times10^{-6})}=19,76$	$\frac{17\times10^{-5}}{0,25(31\times10^{-6})}=21,93$
$F = 10\times10^4$	$\frac{34\times10^{-5}}{0,15(102\times10^{-6})}=22,22$	$\frac{33\times10^{-5}}{0,20(86\times10^{-6})}=19,18$	$\frac{31\times10^{-5}}{0,25(80\times10^{-6})}=15,50$
$F = 12,5\times10^4$	$\frac{42\times10^{-5}}{0,15(128\times10^{-6})}=21,87$	$\frac{39\times10^{-5}}{0,20(107\times10^{-6})}=18,22$	$\frac{38\times10^{-5}}{0,25(104\times10^{-6})}=14,61$





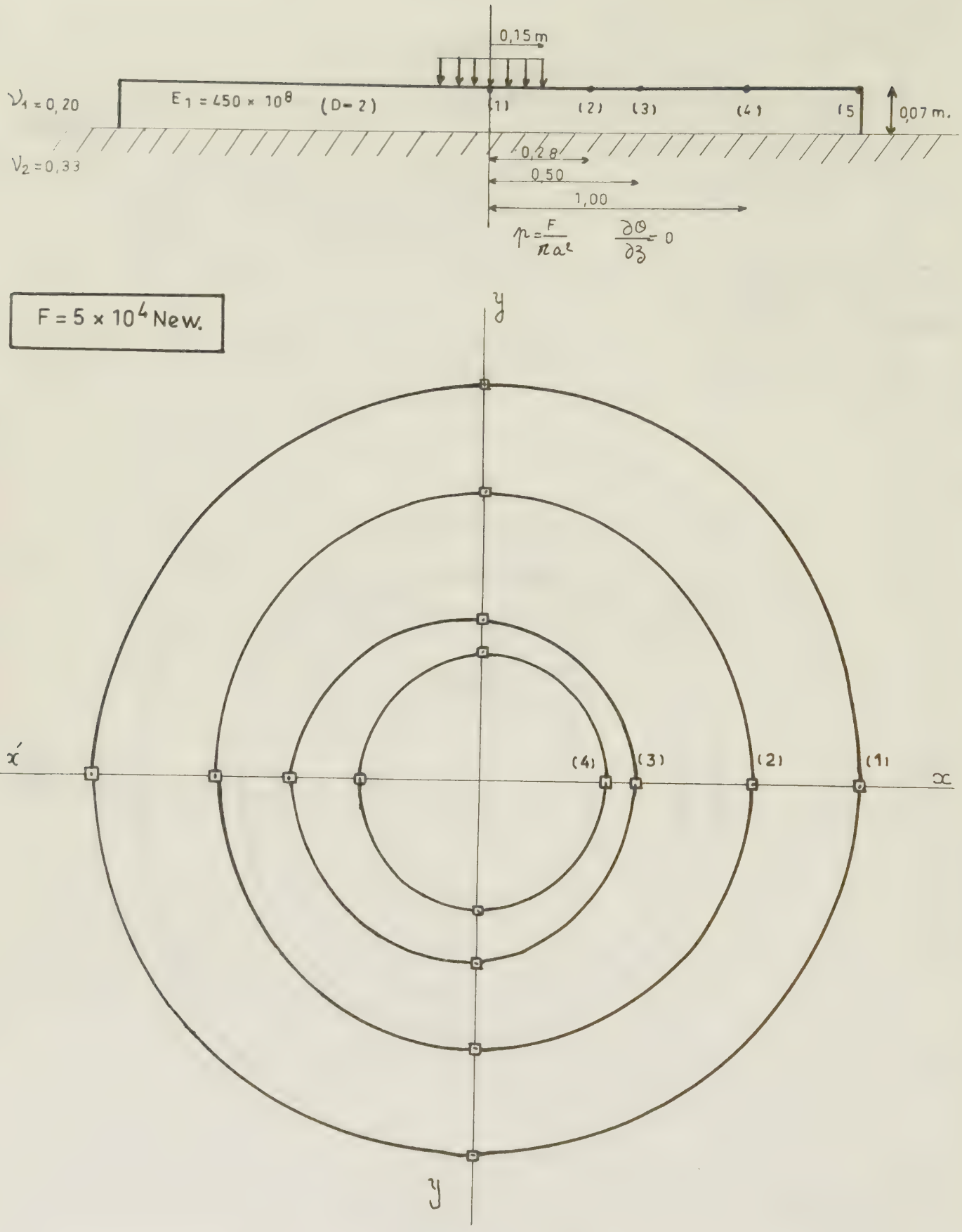
LES VARIATIONS $\left(\frac{W}{a.\varepsilon_t}, a\right)$ AU CENTRE DE LA DALLE (D - 3)

FIGURE 101 -



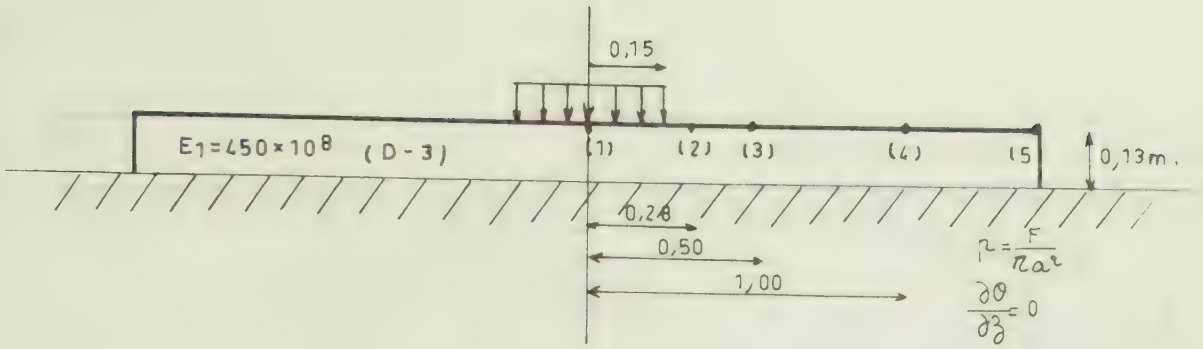
L'ISOTROPIE DE LA DALLE (D - 1) AU MOYEN DES (WE)

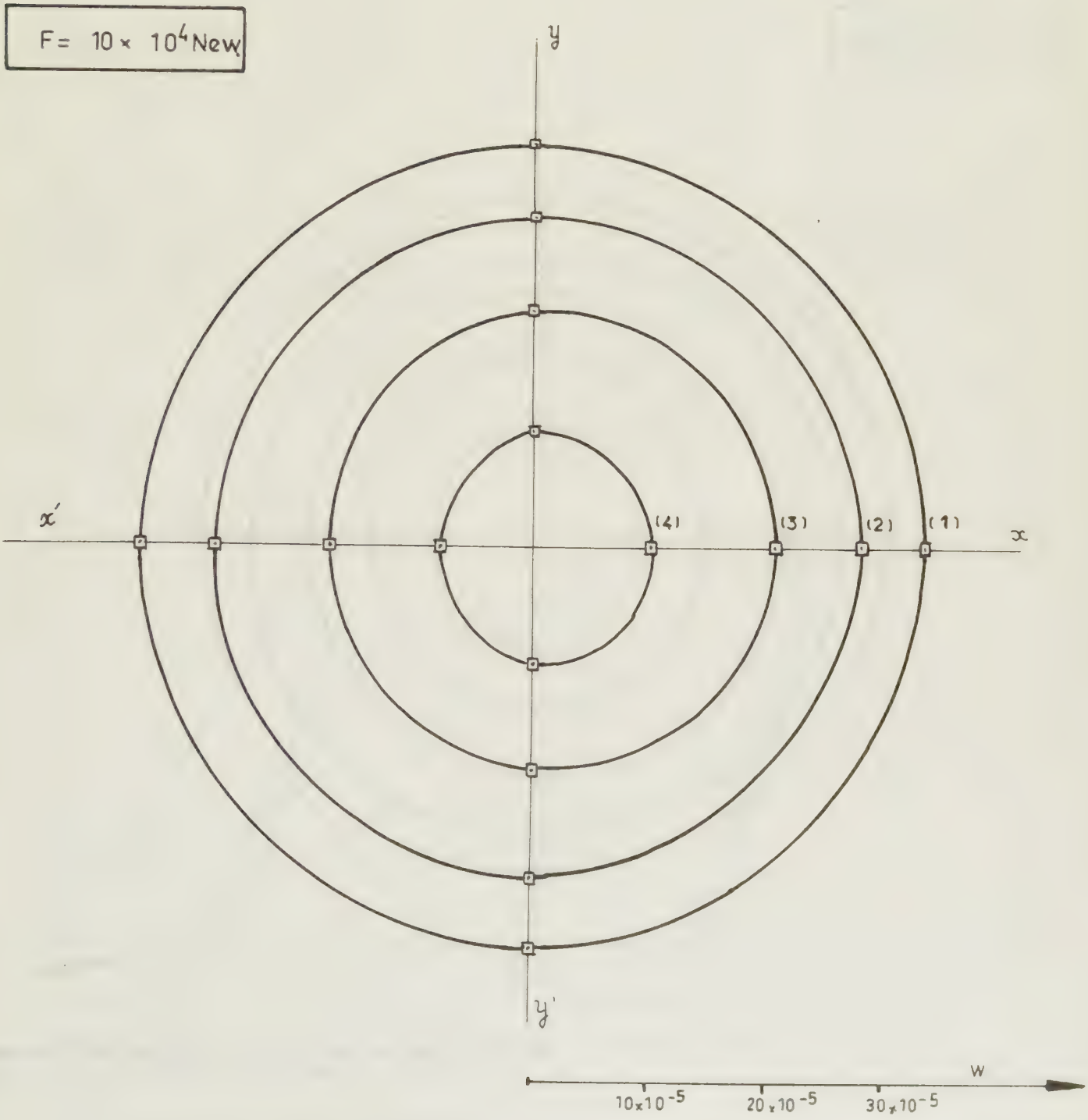
FIGURE 102 -



L'ISOTROPIE DE LA DALLE (D - 2) AU MOYEN DES (W_E)

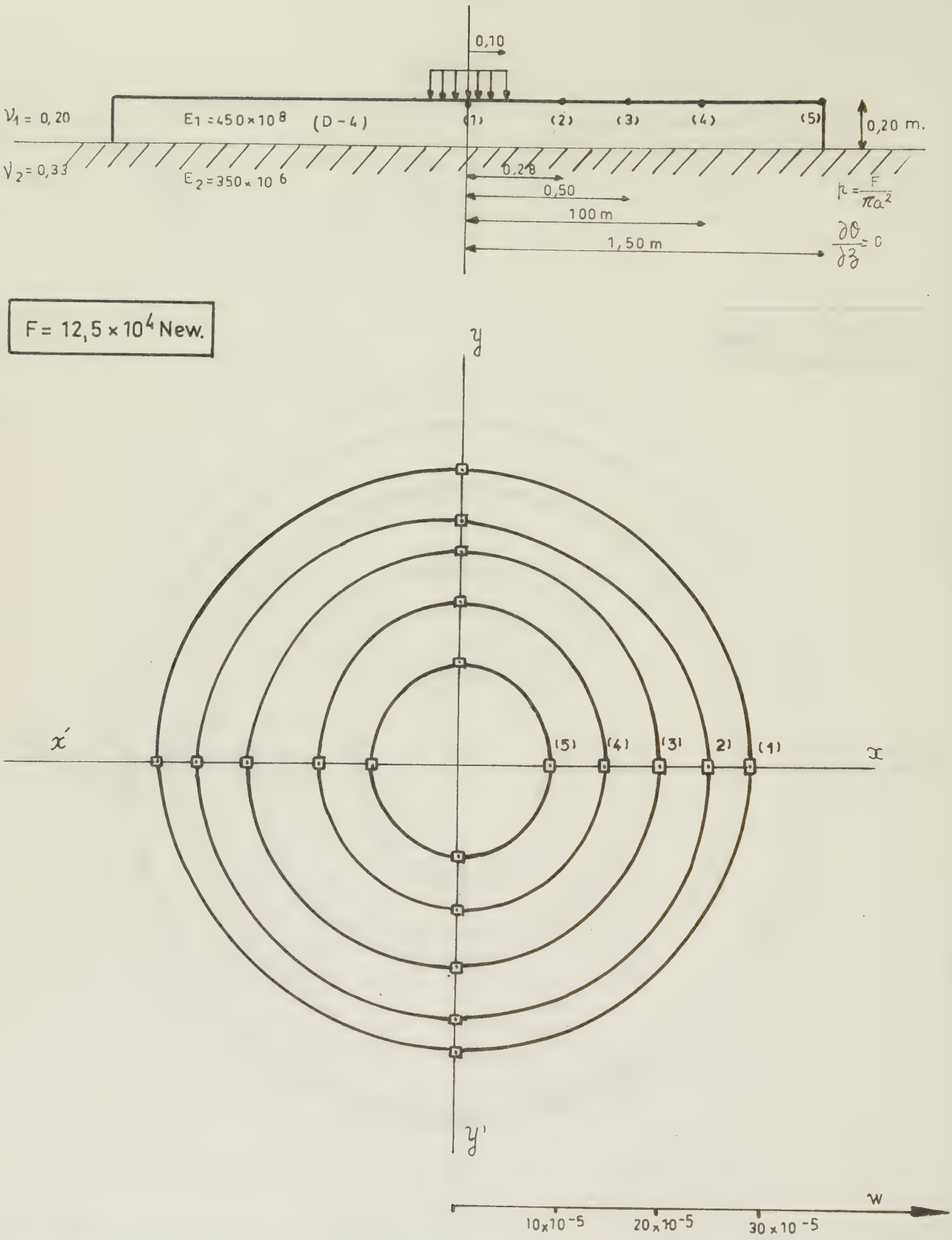
FIGURE 103 -





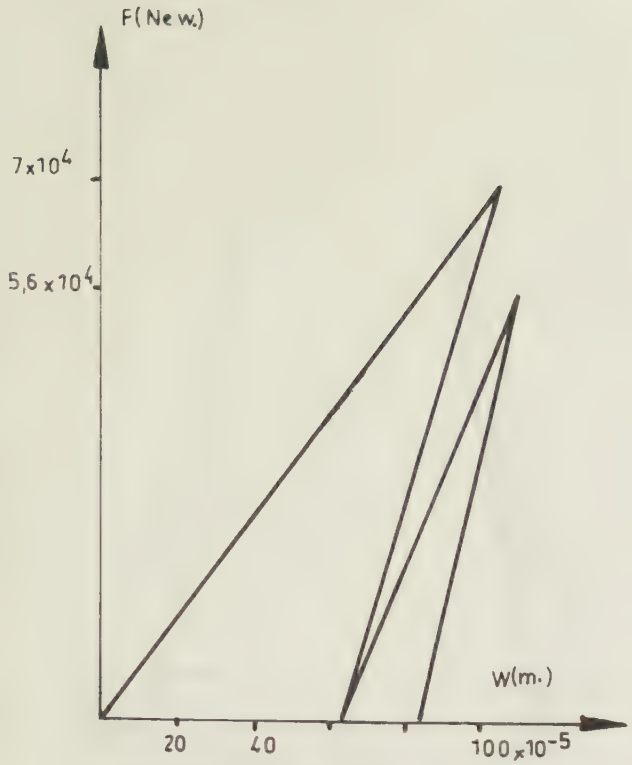
L'ISOTROPIE DE LA DALLE (D-3) AU MOYEN DES (W_E)

FIGURE 104 -

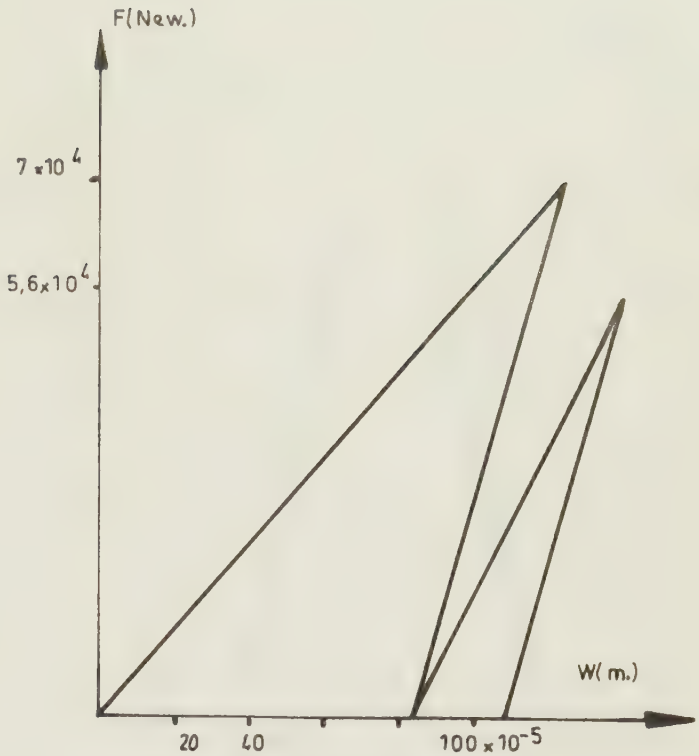


L'ISOTROPIE DE LA DALLE (D-4) AU MOYEN DES (W_E)

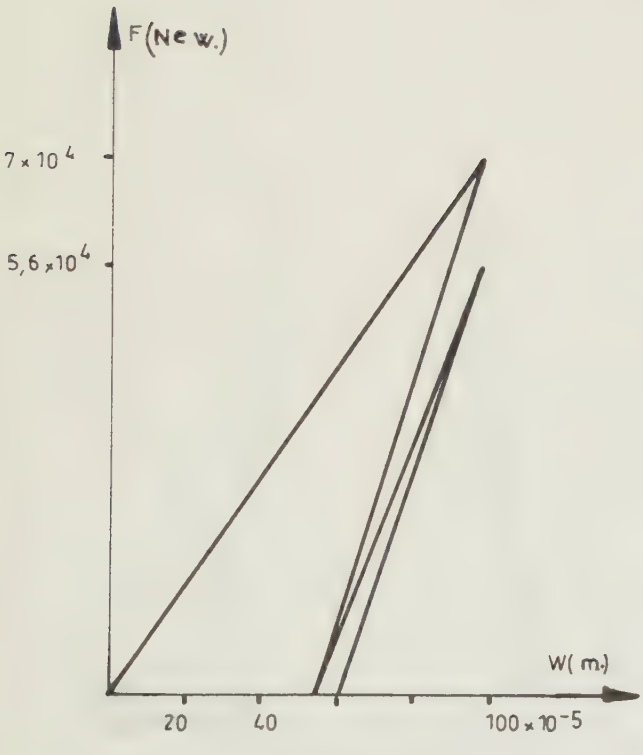
FIGURE 105 -



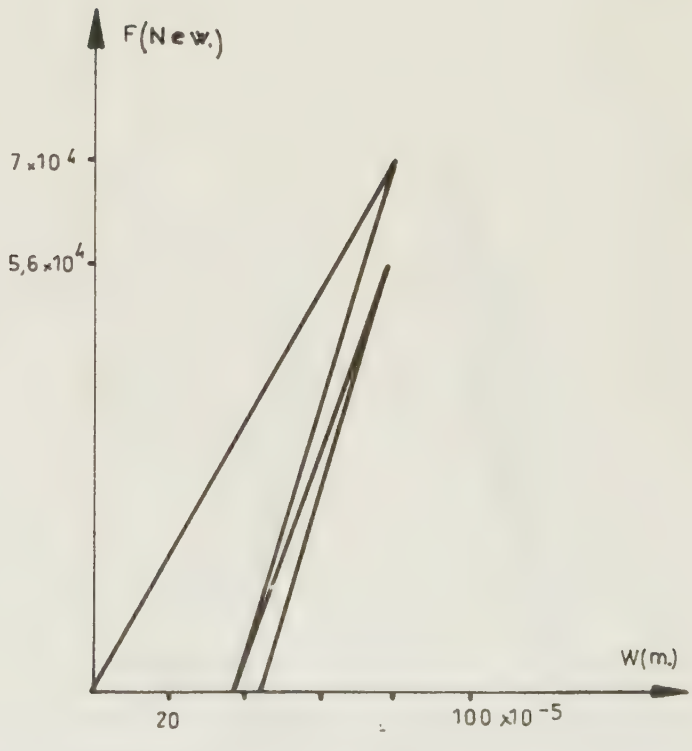
Emplacement (1) du support de la (D-1)



Emplacement (2) du support de la (D-2)



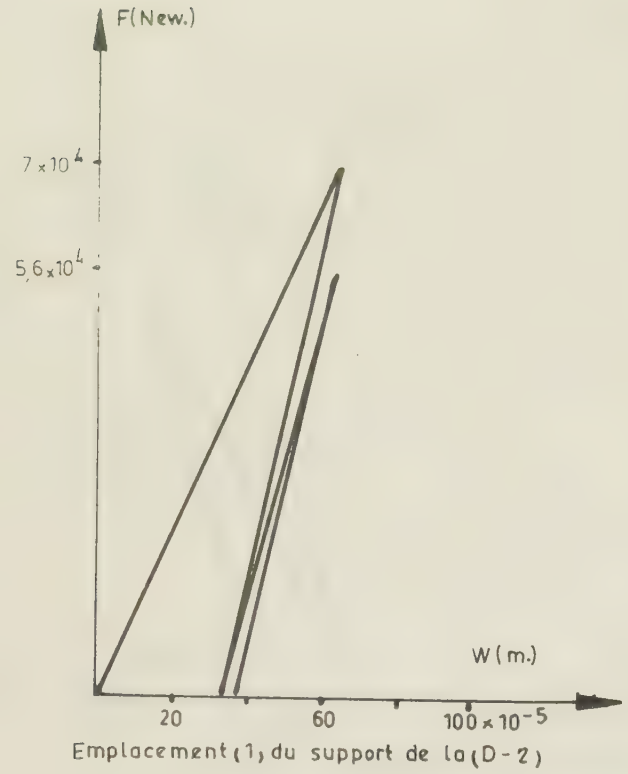
Emplacement (3) du support de la (D-1)



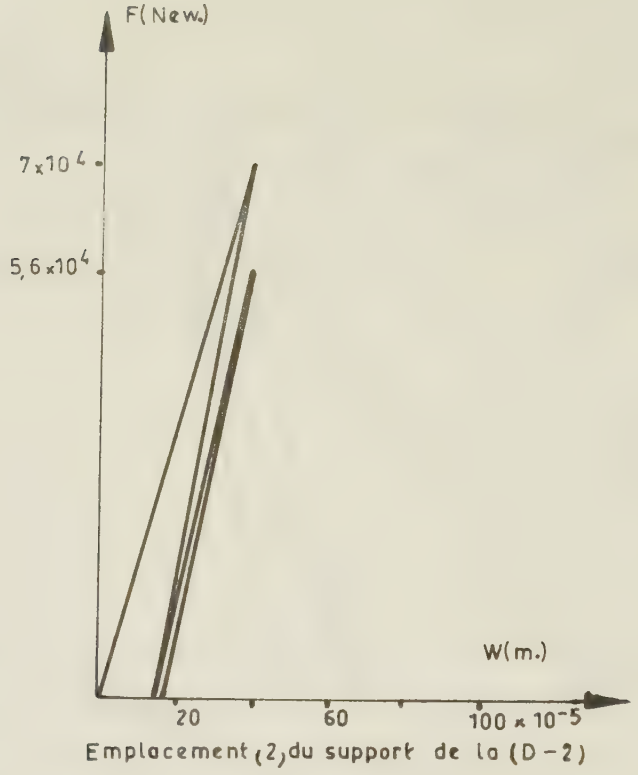
Emplacement (4) du support de la (D-1)

ESSAIS DE PLAQUE POUR LA DETERMINATION DE (E) DU SUPPORT DE LA (D-1)

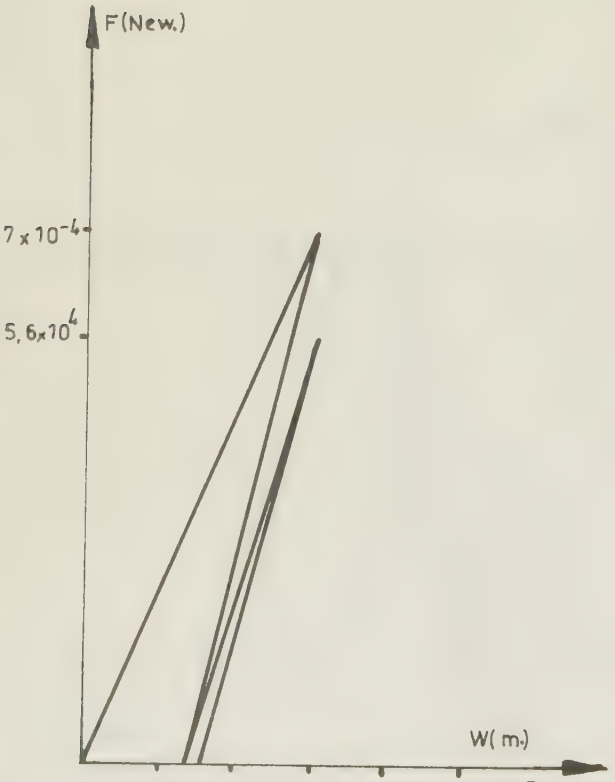
FIGURE 106 -



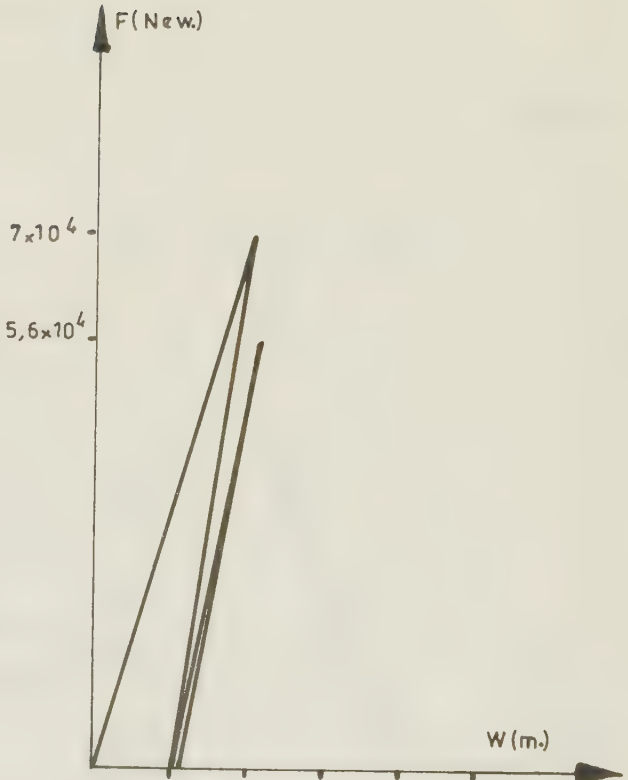
Emplacement (1) du support de la (D-2)



Emplacement (2) du support de la (D-2)



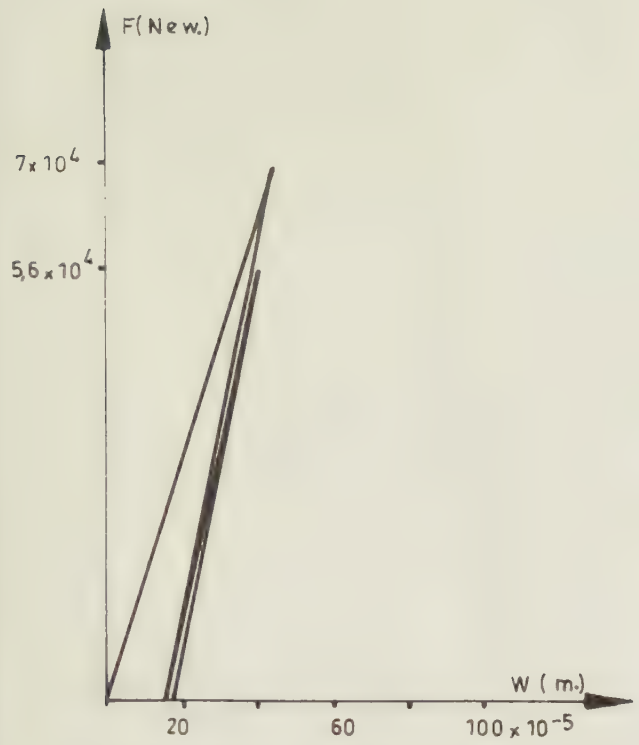
Emplacement (3) du support de la (D-2)



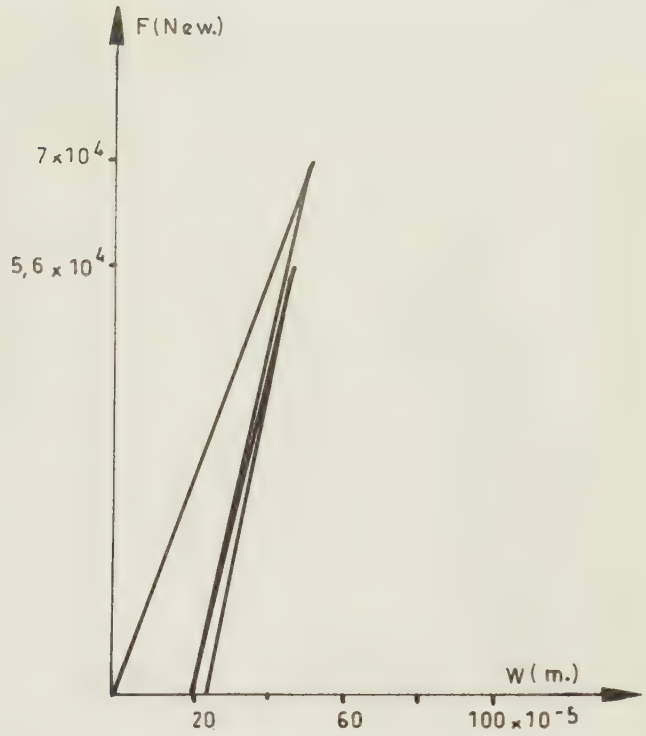
Emplacement (4) du support de la (D-2)

ESSAIS DE PLAQUE POUR LA DETERMINATION DE (E) DU SUPPORT (D-2)

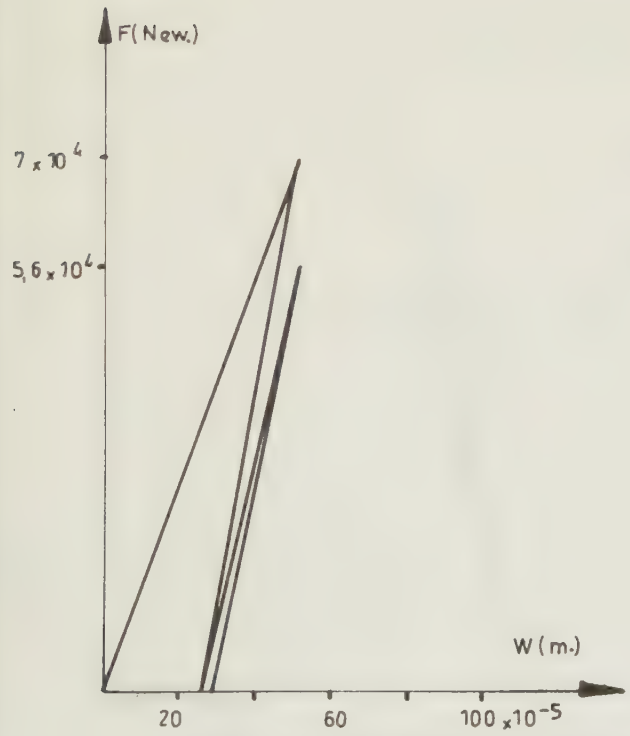
FIGURE 107 -



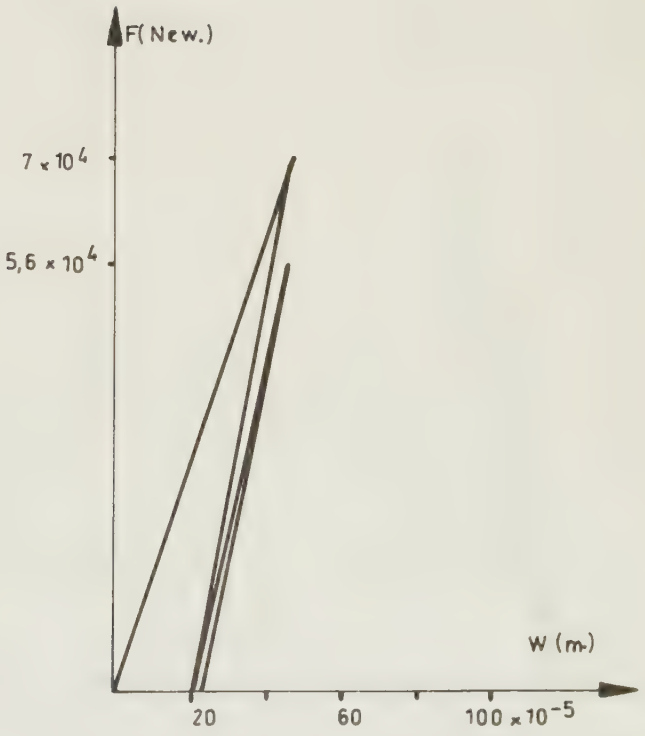
Emplacement (1) du support de la (D - 3)



Emplacement (2) du support de la (D - 3)



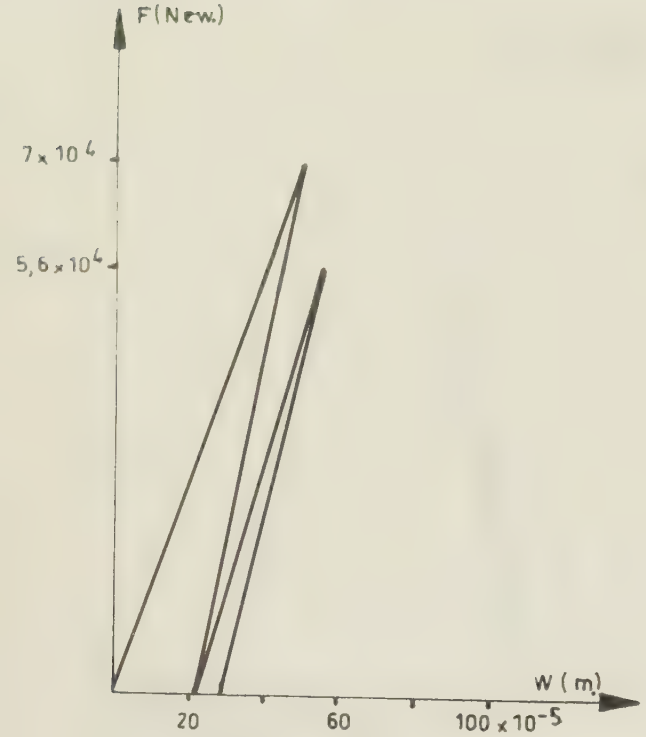
Emplacement (3) du support de la (D - 3)



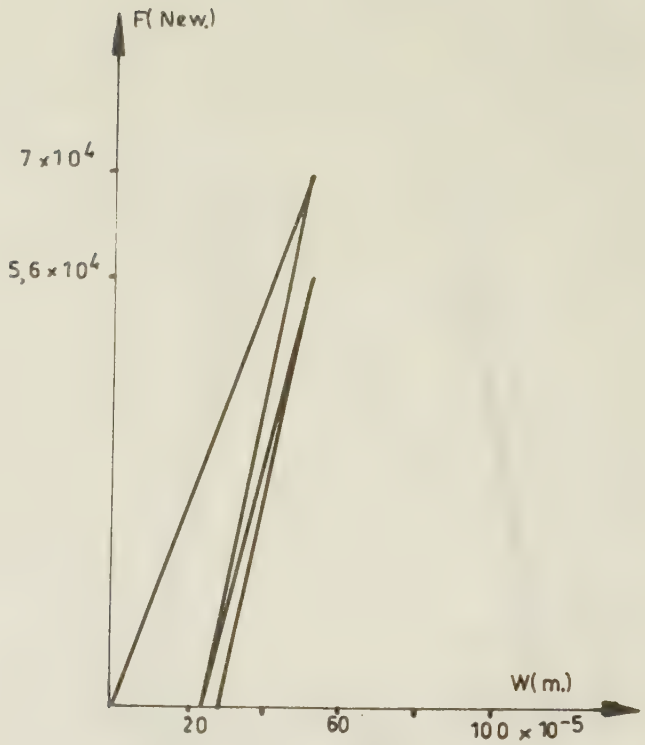
Emplacement (4) du support de la (D - 3)

ESSAIS DE PLAQUE POUR LA DETERMINATION DE (E) DU SUPPORT DE LA (D - 3)

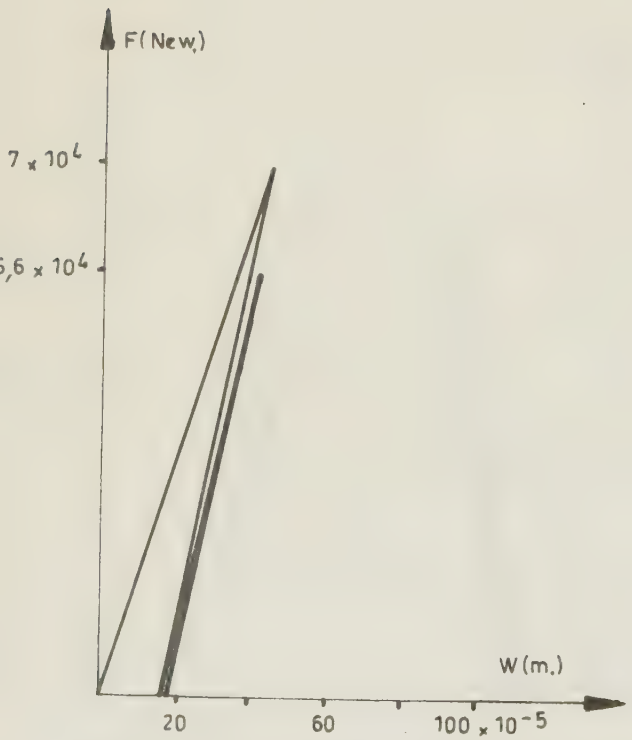
FIGURE 108 -



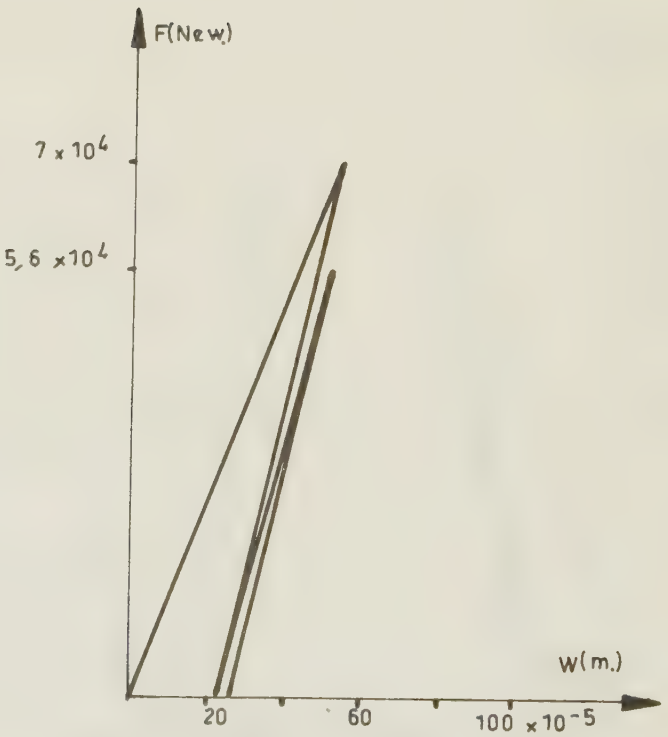
Emplacement (1) du support de la (D - 4)



Emplacement (2) du support de la (D - 4)



Emplacement (3) du support de la (D - 4)



Emplacement (4) du support de (D - 4)

ESSAIS DE PLAQUE POUR LA DETERMINATION DE (E) DU SUPPORT DE LA (D - 4)

FIGURE 109 -

ACADÉMIE DE PARIS

UNIVERSITÉ DE PARIS VI

4, Place Jussieu - 75230 PARIS-CEDEX 05

SERVICE DE LA SCOLARITE

Bureau des Enseignements du 3e cycle

TÉLÉPHONE 336-25-25 - 325-12-21

PERMIS D'IMPRIMER

DOCTORAT : DOCTEUR INGENIEUR

THESE DE :

NOM : Monsieur SEYRAFI

Prénoms : Gholamreza

né le 10 avril 1944 à TABRIZ Dépt : Iran

1ère THESE : "Etude du comportement des chaussées en béton sous charges statiques et thermiques."

2e THESE (Propositions faites par l'Université) :

RESIDENT : M. SIESTRUNCK

XAMINATEURS : M. VICHNIEVSKY
M. SAUTEREY
M. ROUQUES

Vu et Approuvé

PARIS, le 9 octobre 1972

Le Président

de l'Université de PARIS VI

Sc. 3e c 72-09

Service des Publications du L.C.P.C.
58, boulevard Lefebvre 75732 PARIS CEDEX 15